

Tietokoneavusteisen  
molekyyli mallinnuksen relevanssi 7.–9.  
luokilla oppilaan ensikokemuksen  
näkökulmasta

Oona Kiviluoto

Pro gradu -tutkielma

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutusyksikkö

27.4.2018

Ohjaajat: Prof. Maija Aksela ja Johannes Pernaa

# TIIVISTELMÄ

HELSINGIN YLIOPISTO - HELSINGFORS UNIVERSITET - UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta - Fakultet – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen		Laitos - Institution - Department Kemian laitos	
Tekijä - Författare - Author Oona Kiviluoto			
Työn nimi - Arbetets titel – Title Tietokoneavusteisen molekyyli­mallinnuksen relevanssi 7.–9. luokilla oppilaan ensikokemuksen näkökulmasta			
Oppiaine - Läroämne - Subject Kemia (kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto)			
Työn laji - Arbetets art - Level Pro gradu -tutkielma		Aika - Datum - Month and year 04/2018	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 57 sivua + 1 liite
Tiivistelmä - Referat - Abstract <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä relevanssiteorian mukaiset ulottuvuudet korostuvat oppilaiden molekyyli­mallinnuksen ensikokemuksessa ja millaiset tekijät vaikuttavat relevanssiin. Relevanssilla tarkoitetaan oppilaiden saamia positiivisia kokemuksia, jolloin opetuksesta tulee relevanttia oppilaiden tavoitteiden ja kokemusten näkökulmasta. Relevanssiteorian mukaan relevanssi koostuu eri ulottuvuuksista. Näitä ulottuvuuksia ovat nykyhetki ja tulevaisuus, sisäinen ja ulkoinen sekä henkilökohtainen, yhteiskunnallinen ja ammatillinen taso.</p> <p>Tässä tutkimuksessa kartoitettiin ulottuvuuksien ilmentymistä survey-tutkimuksella kyselylomakkeella. Oppilaiden asenteet kemian opintoja kohtaan ovat usein kielteisiä ja yksi kielteisiin asenteisiin liitetty tekijä on oppilaiden relevanssin puute tiedeaineita kohtaan tulevaisuuden tai yhteiskunnan kannalta. Opetusmenetelmä, jonka relevanssia tutkimuksessa tarkasteltiin, on tietokoneavusteinen molekyyli­mallinnus, jonka on todettu muun muassa lisäävän kemian opetuksen autenttisuutta ja kiinnostavuutta.</p> <p>Kyselylomaketutkimuksen aineisto käsiteltiin kvantitatiivisen sisällönanalyysin menetelmin vastausten prosenttiosuuksia, ristiintaulukointia ja Fisherin tarkkaa testiä hyödyntäen. Kohderyhmänä olivat helmi-maaliskuussa 2018 Helsingin yliopistolla kemian laitoksella molekyyli­mallinnusta osana vierailuaan tehneet yläkoulun oppilasryhmät. Tutkimukseen osallistui 130 peruskoulun oppilasta. Osa vastaajista osallistui tutkimukseen osana Kemianluokka Gadolin -vierailua ja osa omassa koulussaan. Kaikki osallistuivat tutkimukseen osana normaalia kouluopetusta. Tutkimus toteutettiin oppilaiden ensimmäisen molekyyli­mallinnustunnin jälkeen informoidusti.</p> <p>Tutkimuksen tulos oli, että relevanssiteorian ulottuvuuksista yhteiskunnallinen, ulkoinen ja nykyhetki saivat eniten kyllä-vastauksia väittämiin. Molekyyli­mallinnuksen ensikokemuksen relevanssiin vaikutti kiinnostus kemiaa kohtaan. Ne oppilaat, jotka kokivat kemian mielenkiintoiseksi, kokivat molekyyli­mallinnuksen relevantimmaksi erityisesti henkilökohtaisella tasolla. Tietokoneista ja tekniikasta kiinnostuksella ei ollut vaikutusta relevanssiin. Enemmistö oppilaista koki kemian mielenkiintoiseksi oppiaineeksi, jonka lisäksi molekyyli­mallinnus oli enemmistön mielestä helppoa ja kivaa sekä auttoi ymmärtämään kemiaa paremmin.</p>			
Avainsanat – Nyckelord - Keywords Molekyyli­mallinnus, relevanssi, yläkoulu, kemia			
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information Ohjaajat: Prof. Maija Aksela ja Johannes Pernaa			

## Kiitokset ja esipuhe

Didaktiikan tutkimusala on pyrkinyt vuosisatoja selvittämään, millaista on hyvä opetus. Samaan kysymykseen pyrkivät vastaamaan monet koulutuspoliittiset tahot, kuten opetusministeriö ja opetushallitus. Didaktiikan peruskysymys toimii motivaationa tutkivalle opettajalle päivittäisessä työssään. Miten opettaa kemiaa, niin että se kiinnostaisi nuoria? Mitä kokonaisvaltaisemmin kysymykseen pyrkii vastaamaan, sitä mahdottomammalta tehtävältä kemian opetus ajoittain tuntuu. Opiskelu ja kasvu tulevaksi opettajaksi ja ammattilaiseksi on ollut pitkä ja kokonaisvaltainen prosessi. Tapahtumapaikkana on toiminut Kumpulan kampus, jossa olen viihtynyt yhdeksän vuotta. Matkaan on mahtunut ilon hetkiä ja ponnistelua.

Tämän tutkielman merkitys opintoni päättävänä päätyönä on alusta asti motivoinut minua tutkimus- ja kirjoitustyössäni. Haluan kiittää ohjaajaani professori Maija Akselaa kuluneista vuosista, ohjauksesta, kannustuksesta ja inspiroivasta oppimisympäristöstä. Toista ohjaajaani Johannes Pernaata haluan kiittää luottamuksesta valitsemiini menetelmiin, monista hyödyllisistä käytännönneuvoista ja hyvistä keskusteluista, jotka tukivat kirjoitustyötäni. On ollut ilo saada tutustua molekyylihallinnuksen mielenkiintoiseen maailmaan alan todellisten ammattilaisten ohjauksella, jollaisia Maija Aksela ja Johannes Pernaa ovat. Lisäksi haluan kiittää vanhempiani, jotka ovat aina uskoneet minuun ja kannustaneet vaikeina hetkinä. Helsingin Yliopiston Kemistit ry:tä haluan kiittää unohtumattomista vuosista sekä elinikäisistä ystävistä.

## Sisällys

1. JOHDANTO .....	1
2. MOLEKYYLIMALLINNUS .....	3
2.1 Mallit ja visualisoinnit opetuksen tukena.....	3
2.2 Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus .....	5
2.3 Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus opetuksessa .....	6
2.4 Tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen haasteet .....	9
3. RELEVANSSI .....	13
3.1 Relevanssi tutkimuskirjallisuudessa .....	13
3.2 Relevanssiteoria.....	14
3.3 Relevanssi tietokoneavusteisessa molekyylimallinnuksessa.....	18
4. TUTKIMUS.....	20
4.1 Tutkimusote .....	20
4.2 Tutkimuskysymykset.....	22
4.3 Tutkimuskohde.....	22
4.4 Tutkimusmenetelmät .....	24
4.4.1 Kyselylomaketutkimus.....	24
4.4.2 Kvantitatiivinen sisällönanalyysi.....	25
4.5 Luotettavuustarkastelu.....	28
5. TULOKSET .....	32
5.1 Taustatiedot.....	32
5.2 Relevanssiteorian mukaisten ulottuvuuksien korostuminen oppilaiden tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen ensikokemuksessa .....	33
5.3 Taustamuuttujien vaikutus tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen relevanssiin.....	36
5.3.1 Kemiasta kiinnostuksen vaikutus relevanssiin .....	36
5.3.2 Tietokoneista ja tekniikasta kiinnostuksen vaikutus relevanssiin.....	42
6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	47
6.1 Tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen relevanssi .....	47
6.1.1 Relevanssin ulottuvuuksien korostuminen .....	48
6.1.2 Kiinnostuksen kemialla tai tietokoneita kohtaan vaikutus relevanssiin .....	49
LÄHTEET .....	53
LIITE.....	58

## 1. JOHDANTO

Relevanssin tutkimisella on pitkä historia, joka alkaa 1950-luvulta (Stuckey, Hofstein, Mamlok-Naaman & Eilks, 2013). Kasvattajat, opettajat ja alan tutkijat ovat pyrkineet selvittämään, mistä oppilaiden kiinnostus opittavaa aihetta kohtaa johtuu ja kuinka sitä voitaisiin lisätä. Relevanssitutkimuksella pyritään vastaamaan kysymykseen, mikä tekee opetuksesta relevanttia oppijan näkökulmasta. Suomalaisen perusopetuksen tehtävä on tarjota oppilaalle laaja yleissivistys, joka valmistaa oppijaa kohtamaan tulevaisuuden haasteita. Oppilaan osaamisen kehittymiseen ja asenteisiin vaikuttavat ne sisällöt, joiden parissa työskennellään, sekä erityisesti se, miten työskennellään ja miten oppijan ja ympäristön vuorovaikutus toimii. Oppilaille annettava palaute sekä oppimisen ohjaus ja tuki vaikuttavat etenkin asenteisiin, motivaatioon ja tahtoon toimia. (Opetushallitus, 2014). Erilaisilla opiskelumenetelmillä on keskeinen merkitys oppimistuloksiin ja asenteisiin (Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011), jonka takia opetusmenetelmien, kuten tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen, tutkiminen on tärkeää relevanssitutkimuksen kannalta.

Peruskoulun oppilaiden vähäinen kiinnostus luonnontieteitä kohtaan on tunnettu jo pitkään (Lavonen, Juuti, Uitto, Meisalo & Byman, 2005). Oppilaat eivät tutkimusten mukaan pidä kemiasta tai fysiikasta, eivätkä pidä niiden opiskelua kovinkaan hyödyllisenä (Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011). Myös käsitykset omasta osaamisesta kemiassa ovat vähäiset. Oppilaat eivät siis koe tiedeaineita relevantteina tulevaisuutensa kannalta, eivätkä he omaa opiskeluun vaadittavaa itseluottamusta. Lisäksi opiskelijoiden vähäinen mielenkiinto kemian opiskelua kohtaan vaikuttaa kemian osaamiseen negatiivisesti (Kärnä, Hakola, Kuusela, 2011). Relevanssin lisäämisestä opiskeltavaa aihetta kohtaan on pidetty yhtä ratkaisuna opiskelijoiden mielenkiinnon lisäämiseksi ja siten oppimistulosten parantamiseksi (Newton, 1988; Holbrook, 2005). Opiskelun relevanssia tukevien työskentelytapojen tuominen opetukseen on keskeistä mielekkään opetuksen tarjoamisen kannalta.

Sanalle sivistys ei ole englannin kielessä vastinetta. Saksankielinen sana sivistys eli Bildung tai yleissivistys eli Allgemeinbildung on vanhin kirjallisuudessa esiintyvä kuvaus relevanssille sellaisessa muodossa, kuin se tänä päivänä voidaan ymmärtää. Saksalainen didaktiikka tutki jo 200 vuotta sitten, millaisia päämääriä opetuksella on oltava, jotta oppijat kokevat sen merkitykselliseksi. Klafkin (2000a) määrittelemän mukaan relevanssitutkimuksen

perusajatuksena on ymmärtää koulutuksen yleisiä tavoitteita ja milloin oppiminen on henkilökohtaisesti arvokasta oppijalle. Näiden kahden ulottuvuuden yhteensovittaminen yhdessä oppilaan nykyisten ja tulevien tarpeiden kanssa on relevantin opetuksen tärkein tavoite. Tämän tutkielman luvussa kolme käsitellään tarkemmin relevanssin määritelmää kirjallisuuden ja käytännön kannalta.

Tieteen pyrkimyksenä on löytää selitys luonnossa tapahtuville ilmiöille. Luonnossa esiintyvät tapahtumat eivät kuitenkaan ole luonnostaan ilmiöitä. Tapahtumien kuvailu ilmiöinä on ihmisen keino rajata tapahtumaan vaikuttavat tekijät ja siten pystyä selittämään ilmiö tieteen keinoin (Gilbet, 2005). Ilmiötä kuvailemalla ihminen on luonut luonnon tapahtumiin pohjautuvan mallin. Näitä malleja hyödynnetään myös kemian opetuksessa, koska esimerkiksi molekyyileja ei voida havainnoida luokkahuoneessa paljain silmin. Reaktioita ja ilmiöitä selitetään usein malleilla ja kokeellisella työskentelyllä. Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus on kokeellisen ja laskennallisen kemian työkalu, jonka avulla voidaan visualisoida ja havainnoida molekyyliä, atomien sijaintia ja suhteellista kokoa molekyyliässä sekä erilaisia laskennallisia ominaisuuksia kuten poolisuutta. Valtakunnallinen Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet (Opetushallitus, 2014) määrittelee tieto- ja viestintäteknologisen osaamisen (L5) yhdeksi laaja-alaiseksi tavoitteekseen ja kansalaistaidoksi. Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus voidaan laskea kokeelliseksi tietokoneella tehtäväksi oppimiseksi, jolla on todettu olevan useita hyötyjä opetuksessa, joita tarkastellaan tarkemmin tämän tutkielman kappaleessa kaksi.

Koska kokeellisilla työtavoilla on merkittävä vaikutus oppilaiden osaamiseen ja asenteisiin kemiassa (Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011), on oleellista tutkia erilaisten kokeellisten työskentelytapojen relevanssia. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin peruskoulun 7.-9. luokalla olevien oppilaiden ensikokemusta molekyylimallinnuksesta relevanssia mittaamalla. Tutkimuksessa kartoitettiin relevanssin eri ulottuvuuksia kyselylomaketutkimuksella, jonka tulokset analysoitiin kvantitatiivisin menetelmin. Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset esitellään kappaleessa neljä ja tutkimuksen vastaukset luvussa viisi. Tutkimuksen tavoitteena oli ensisijaisesti selvittää mitkä relevanssiteorian (Stuckey et al., 2013) mukaiset ulottuvuudet korostuvat oppilaiden molekyylimallinnuksen ensikokemuksessa ja millaiset tekijät vaikuttavat relevanssiin.

## 2. MOLEKYYLIMALLINNUS

Tässä kappaleessa käsitellään mallien merkitystä kemian opetuksessa ja erilaisia molekyylimalleja. Kappaleessa käsitellään erityisesti tietokoneavusteista molekyylimallinnusta opetusmenetelmänä ja tutkimuksissa siihen yhdistettyjä hyötyjä ja haasteita.

### 2.1 Mallit ja visualisoinnit opetuksen tukena

Kemia on luonnon tutkimiseen ja mittaamiseen perustuva tieteenala. Tutkimustietoa eri atomien ja molekyylien ominaisuuksista on runsaasti ja teoriat tarkentuvat ja päivittyvät jatkuvasti. Tieteellisiin teorioihin pohjautuvaa tutkimustietoa on pyritty aina kuvaamaan erilaisilla visualisoinneilla eli malleilla. Molekyylimalli on tieteellisiin teorioihin ja laskennalliseen tutkimustietoon pohjaava esitystapa siitä, millainen molekyyli on. Molekyylimalleja on erilaisia. Molekyylimallina voi toimia askarteluvälineillä tikuista ja palloista itse rakennettu muodostelma, mutta myös tietokoneella tilastoja hyväksikäyttäen laskettu kolmiulotteinen esitys. Yleisesti voidaan sanoa, että molekyylimallinnuksella tarkoitetaan teoreettisia ja laskennallisia menetelmiä, joilla pyritään kuvaamaan molekyylin rakennetta ja ominaisuuksia tai ennustamaan kemiallista ilmiötä. (Aksela & Lundell, 2008).

Kemia tieteenä on perinteisesti koettu hankalaksi opettaa ja ymmärtää, koska se on abstraktia (Johnstone, 1991). Molekyyleja ei voida havainnoida luokkahuoneessa paljain silmin, joten reaktioita ja ilmiöitä selitetään usein kokeellisilla töillä. Kokeellisissa töissä atomien väliset reaktiot voidaan nähdä paljain silmin esimerkiksi liuoksen koostumuksen tai värimuutoksena. Vaarana on, että oppilas ymmärtää näkemänsä ilmiön, mutta ei osaa yhdistää sitä molekyylitasolla tapahtuvaan kemialliseen reaktioon (Johnstone, 1991).

Mallit ovat tärkeä osa kemiaa ja kaikkia luonnontieteitä, jonka takia niitä tulisi pitää tärkeänä osana myös kemian opetusta (Gilbert, 2005). Mallien tavoite on pyrkiä kuvaamaan jotakin kemiallista käsitettä tai ilmiötä. Malli on yksinkertaistettu versio luonnossa tapahtuvasta tapahtumasta, joka määräytyy sen mukaan, mistä näkökulmasta tapahtumaa eli ilmiötä halutaan tarkastella. Malli rakentuu sen mukaan, mikä tavoite mallilla on, eli mitä mallilla halutaan visualisoida tai havainnollistaa. Toimiva malli kuvailee luonnon tapahtumia rajaten ulkopuolelle epäoleelliset tekijät ja on siten yksinkertaisempi kuin sen kuvailema todellinen

kohde (Barak & Dori, 2005). Ilmiön havainnollistamisessa voidaan käyttää useita malleja samanaikaisesti, jotka täydentävät toisiaan. Monipuolinen mallien käyttö opetuksessa tukee oppimista (Barnea, 2000) sekä auttaa oppilasta kehittämään omia mallejaan ja yhdistelemään käsitteitä (Treagust et al., 2002).

Kemialliset mallit voidaan luokitella viiteen kategoriaan. Niitä ovat visuaaliset, konkreettiset, symboliset, verbaaliset ja elemallit. (Gilbert, 2000) Molekyylimallinnuksesta puhuttaessa mallilla tarkoitetaan yleensä joko käsinkosketeltavaa konkreettista molekyylimallia tai visuaalista mallia kuten tietokoneavusteisella molekyylimallinnuksella luotu kuva molekyylistä. Kemiassa käytetään myös symbolisia malleja, joita ovat esimerkiksi lasku- ja rakennekaavat. Verbaalisilla malleilla tarkoitetaan jonkin ilmiön, asian tai vuorovaikutussuhteen kuvailua joko sanallisesti tai kirjallisesti. Verbaaliset mallit ovat opettajan tärkein työväline, sillä kaikki opetuksessa käytettävät mallit vaativat kuvailua, jotta oppilaan on mahdollista ymmärtää, mitä malli esittää. Elemallit ovat usein osa verbaalisia malleja ja niillä tarkoitetaan esimerkiksi käsillä tehtäviä eleitä, jotka liittyvät mallin kuvailuun. Hyvässä opetuksessa erilaisten mallien käyttö tukee toisiaan ja muodostaa yhtenäisen ja ymmärrettävän kokonaisuuden mallin kuvaamasta ilmiöstä (Barnea, 2000).

Malleja käytettäessä opetuksessa tulisi kiinnittää huomiota niiden ymmärrettävyyteen. Asiantuntija, kuten opettaja, tarkastelee mallia eri tavalla kuin oppilas. Mallien opetuksen yhteydessä oppilaan tulisi ymmärtää mallien luonne – ne ovat ihmisen luomia yksinkertaistuksia todellisuudesta eivätkä todellisia kuvauksia luonnosta. Mallien havainnointi voidaan jakaa kolmeen tasoon sen mukaan, kuinka hyvin oppilas ymmärtää mallin ja osaa käyttää sitä (Justi & Gilbert, 2002). Ensimmäisen ajattelutason oppilas ajattelee, että malli on todellinen ja täydellinen kuvaus todellisuudesta tai päinvastaisesti ajattelee mallin olevan hyödytön ja merkityksetön. Toisen ajattelutason oppilas ymmärtää mallin tavoitteen ja hyödyn, mutta ei ymmärrä mallin olevan yksinkertaistettu kuvaus todellisuudesta. Kolmannen ajattelutason oppilas ymmärtää mallien luonteen ja merkityksen tieteessä. Mitä enemmän malleja opetuksessa käytetään, sitä paremmin oppilaat ymmärtävät mallien merkityksen luonnontieteissä (Treagust et al., 2002).

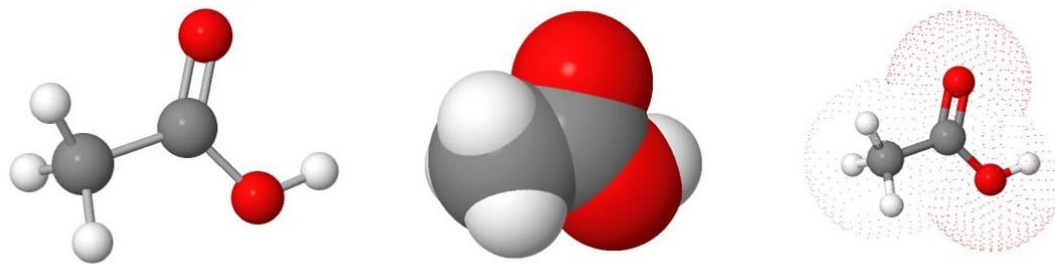


## 2.2 Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus

Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus on ollut kemistien työkaluna tutkimuksessa vuosikymmeniä. Esimerkiksi laskennalliseen kemiaan perustuva reaktiotodennäköisyyksien arviointi mallinnuksen avulla, auttaa tutkijoita välttämään turhista kokeista syntyviä kustannuksia. Tietokoneavusteisella molekyylimallinnuksella tarkoitetaan tietokoneella tai muulla älylaitteella tapahtuvaa molekyylimallinnusta.

Molekyyli, atomi tai yhdiste mallinnetaan ohjelmistolla yleensä joko piirtämällä tai hakemalla haluttu molekyyli joko ohjelmiston omasta tietokannasta tai ohjelmiston käyttämästä ulkoisesta tietokannasta. Piirto-ohjelmissa molekyyli mallinnetaan usein atomi kerrallaan. Atomit yhdistetään toisiinsa halutulla sidoksella. Kun haluttu molekyyli on mallinnettu, ohjelmisto optimoi molekyylin laskemalla sille energisesti tehokkaimman asennon. Tietokannasta haettuja tai itse piirrettyjä molekyyliä on mahdollista liikutella, jolloin erilaisia konformaatioita voidaan esimerkiksi tarkastella. Mallinnusohjelmistoilla voidaan tarkastella myös esimerkiksi molekyylin hybridisaatiota, elektronitiheyspintoja, kokoa ja atomien sijaintia molekyyliissä. Myös erilaiset laskennalliset toiminnot ovat useassa mallinnusohjelmistossa saatavilla.

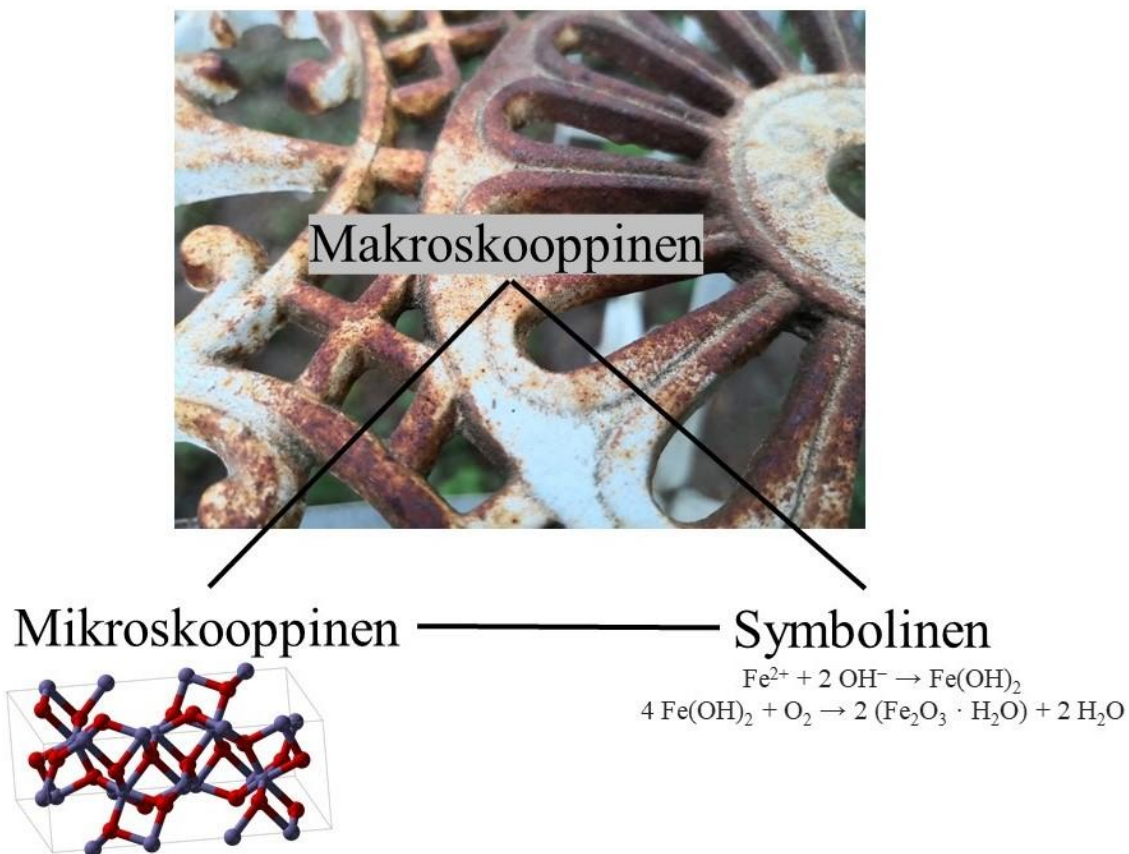
Erilaisilla pinnoilla ja mallityypeillä on mahdollista havainnollistaa molekyylin eri ominaisuuksia. Esimerkiksi perinteinen pallotikkumalli mallintaa selkeästi atomien sijainnin ja koon molekyyliissä sekä sidokset ja sidoskulmat. Pallotikkumalli on hyvin yksinkertaistettu malli, josta ei voida nähdä molekyylin todellista muotoa. Pallotikkumalli liioittelee sidosten pituutta suhteessa atomien kokoon, jotta sidokset ovat selkeämmin näkyvillä. Kalottimallin eli CPK-mallin hyvinä puolina voidaan pitää hyvin todenmukaista molekyylin muotoa ja todellisuutta vastaavia mittasuhteita. Mallista ei kuitenkaan voida nähdä atomien välisiä sidoksia. Pistepintamalli on yhdistelmä CPK-mallista ja pallotikkumallista. Yhdistelmän avulla voidaan havainnoida kummankin mallin parhaita puolia. Pallotikkumallin sidosten selkeys ja atomien sijainti ovat yhdistettynä CPK-mallin realistiseen atomikokoon ja mittasuhteisiin. Pistepintamalli sopii hyvin perusopetukseen, sillä se on visuaalisesti selkeä olematta liian yksinkertaistettu ja siten kaukana todellisuudesta. (Pernaa, Aksela & Ghulam, 2017)



**Kuva 1.** Etikkahappomolekyyli mallinnettuna pallotikku-, kalotti- ja pistepintamallilla.

### 2.3 Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus opetuksessa

Nykyisen opetuskäsityksen ja Bloomin taksonomian mukaan opetuksella on pyrittävä aktivoimaan erilaisia ajattelutasoja, jotka voidaan jakaa karkeasti korkeampiin ja matalampiin ajattelutasoihin. Korkeampia ajattelutasoja aktivoivat tehtävät, joissa oppilaan pitää käyttää luovuutta ja osata arvioida, kehittää sekä analysoida. Matalan ajattelutason tehtävät vaativat muistamista ja ymmärtämistä. (Krathwohl, 2002) Yhtenä kemian opetuksen haasteena voidaan nähdä eri kemian tasojen yhdistäminen (Aksela, 2005; Gabel, 1999; Justi & Gilbert, 2002). Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus aktivoi korkeampia ajattelutasoja ja pyrkii yhdistelemään kemian makro-, mikro- ja symbolisia tasoja (Aksela, 2005; Aksela & Lundell, 2008; Dori & Kaberman, 2012; Webb, 2005). Makrotasolla tarkoitetaan kemiassa paljain silmin nähtäviä ilmiöitä kuten reaktiossa tapahtuva aineen värin tai olomuodon muutos (Kuva 2). Mikrotasolla tai submikroskooppisella tasolla tarkoitetaan kemian ilmiöitä, joita ei voida havaita paljain silmin. Tällainen ilmiö on esimerkiksi elektronitiheys. Symbolisella tasolla tarkoitetaan kemian merkkikieltä kuten alkuaineista käytettäviä lyhenteitä ja kemiallisia kaavoja. (Aksela, 2005; Gabel, 1999) Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus auttaa oppilasta yhdistelemään kemian eri tasoja (Barak & Dori, 2005; Frailich, Kesner, & Hofstein, 2009).

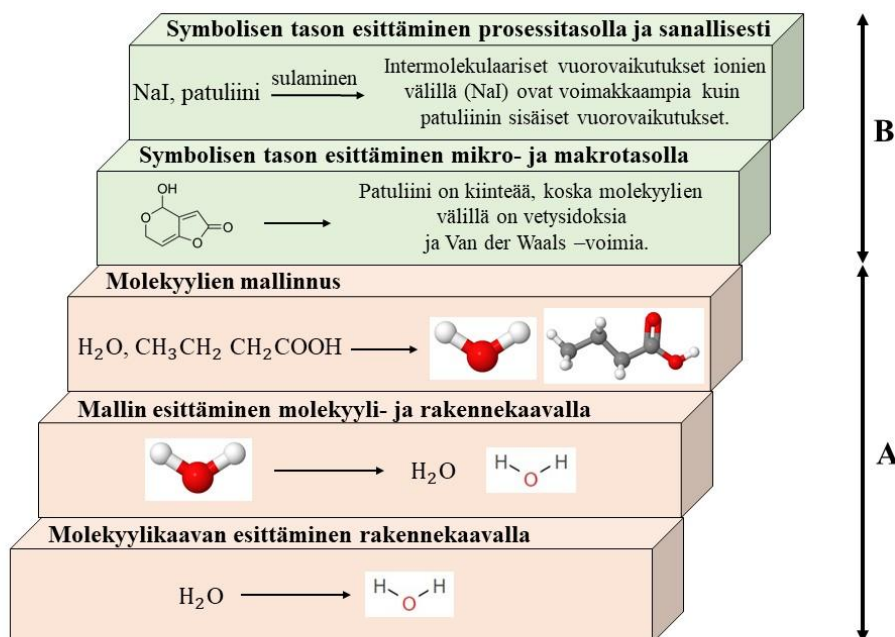


**Kuva 2.** Kemian tasot (Gabel, 1999; Johnstone, 1991), esimerkkinä ruostuminen.

Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus tukee opiskelijoiden kykyä hahmottaa kolmiulotteisia molekyylirakenteita, spatiaalista hahmotuskykyä ja luonnontieteellisten mallien sekä visualisointien ymmärrystä (Barnea, 2000, Pernaa, Aksela & Lundell, 2009). Barnean tutkimuksessa (2000) todetaan tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen auttavan oppilaita erityisesti hahmottamaan geometrisiä rakenteita. Molekyylimallinnus tukee oppilaiden yleistä ymmärrystä malleista ja niiden rajoitteista. Mallien käyttö auttaa oppilaita muodostamaan eheän kokonaiskuvan opiskeltavasta aiheesta sekä tukee mentaalimallien muodostumista. Tietokoneavusteisen molekyylimallinnusohjelmiston käytöstä hyötyvät kaiken tasoiset oppilaat. (Barnea, 2000) Mentaalimallien kehitys voidaan havaita oppilaiden kykynä ilmaista itseään verbaalisesti selkeämmin abstraktin kuvailun sijaan puhuttaessa tunnin aiheesta (Aksela & Lundell, 2008; Barnea, 2000).

Tietokoneavusteinen molekyylihallinnus sopii useiden eri kemian sisältöjen opetukseen (Aksela & Lundell, 2008; Kozma & Russell, 2005). Tällaisia sisältöalueita kemiassa ovat muun muassa funktionaaliset ryhmät (Dori & Barak, 2001), sähkökemiat (Yang, Greenbowe & Andre, 2004) ja kemiallinen tasapaino sekä liuoskemiat (Russell & Kozma, 2005). Akselan ja Lundellin (2008) mukaan tietokoneavusteista molekyylihallinnusta voidaan hyödyntää esimerkiksi molekyylien kolmiulotteiden rakenteen, isomerian (myös Dori & Barak, 2001), hybridisaation (myös Flemming, Hart & Savage, 2000; Pernaa et al., 2009), kemiallisten sidosten (myös Pernaa et al., 2009), elektronitiheyden, Van der Waals -voimien, spektroskopian, kemiallisten reaktioiden ja reaktion energiamuutosten opetuksessa. Tietokoneavusteinen molekyylihallinnus sopii erityisen hyvin myös suurten biomolekyylien mallinnukseen, jotka ovat liian suuria mallinnettavaksi muutoin. Tällaisia biokemiallisia ilmiöitä ovat esimerkiksi DNA, proteiinit ja entsyymit. (Pernaa et al., 2009; Porter et al., 2007)

Tietokoneavusteinen molekyylihallinnus on monipuolinen opetuksen työkalu opettajalle. Molekyylihallinnuksen avulla opettaja ja oppilaat voivat tehdä visualisointeja ja kuvituksia, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi esityksissä ja kurssitöissä. Visualisoinnit voidaan esittää kuvina, liikkuvina videoina tai GIF-tiedostoina ja simulaatioina, joita katsoja voi itse liikuttaa. Molekyylihallinnusohjelmistoilla on mahdollista rakentaa ja nimetä molekyyliä, mutta myös mitata atomien välisiä sidospituuksia ja sidoskulmia. (Aksela & Lundell, 2008) Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen eri ominaisuudet voidaan jakaa kahteen ryhmään sen perusteella, kuinka korkeita ajattelu- ja mallinnustaitoja mallistehtävä vaatii. Vaikeustaso A vaatii alempia mallinnustaitoja kuten piirtäminen ja siirtyminen molekyylikaavan, rakennekaavan ja molekyylihallinnon välillä. Vaikeustaso B vaatii korkeampia mallinnustaitoja kuten siirtyminen symbolisten ja/tai molekyylihallinnon, välillä sekä mikroskooppisen, makroskooppisen ja prosessin tasojen välillä. Prosessitasolla tarkoitetaan oppilaan kykyä ymmärtää kemiallisiin rakenteisiin, reaktioihin ja prosesseihin vaikuttavia tekijöitä. Molekyylihallinnuksessa vaadittavat taidot voidaan siis järjestää hierarkiaan sen mukaan, kuinka paljon mallien ymmärtämistä taito vaatii (Kuva 3). (Dori & Kaberman, 2012)



**Kuva 3.** Mallinnuksen taitotasojen hierarkia (Dori & Kaberman, 2011).

Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen on todettu lisäävän kemian opetuksen autenttisuutta ja kiinnostavuutta (Aksela & Lundell, 2008; Webb, 2005). Toisin kuin sisältötietoa, molekyylihallinnusta voi oppia vain harjoittelun kautta. Opettajien tulisi opettaa mallinnusta ja kannustaa oppilaita käyttämään useita erilaisia malleja ja mallinnustapoja. (Dori & Kaberman, 2012)

## 2.4 Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen haasteet

Suomalaisissa peruskouluissa opettajalla on laajat valtuudet valita itse käyttämänsä opetusmenetelmät, työkalut ja oppimateriaali. Vaikka tieto- ja viestintätekniikan (TVT) käyttö opetuksessa on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina, TVT:n tuominen luokkahuonetyöskentelyyn riippuu edelleen opettajien asenteista, taidoista, tiedoista ja koulussa saatavilla olevasta laitteistosta. Jotta jokaisella peruskoulun oppilaalla olisi valtakunnallisen opetussuunnitelman (Opetushallitus, 2014) edellyttämä oikeus tasa-arvoiseen opetukseen,

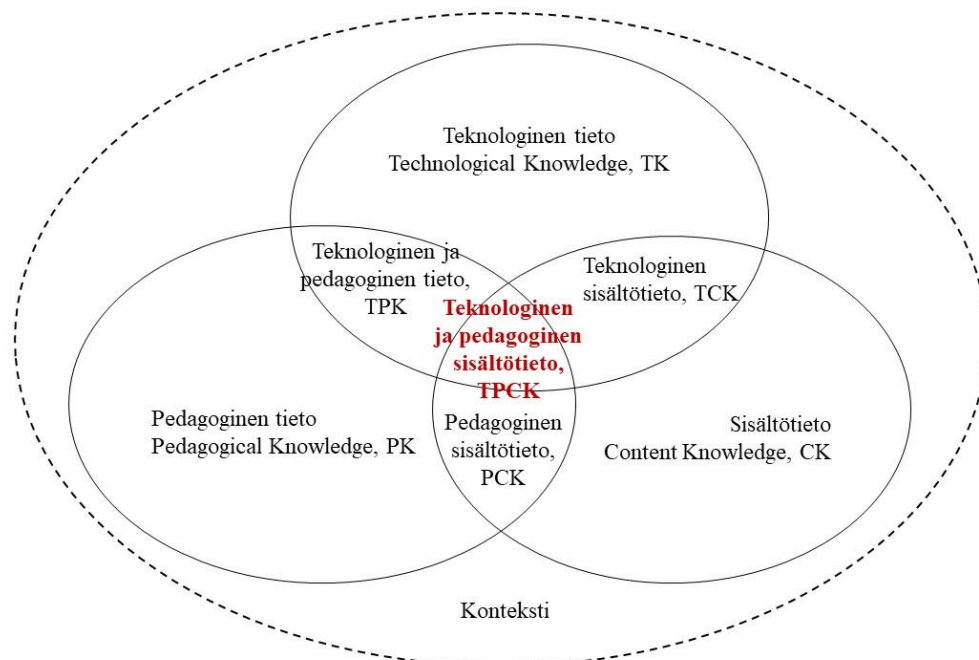
opettajien tiedot ja taidot TVT:n käytössä sekä koulujen mahdollisuudet sähköisten työvälineiden käyttöön, tulisivat olla yhdenmukaisia. Valitettavasti TVT:n käyttö aiheuttaa yhä haasteita kouluille (Aksela, 2005; Meisalo et al., 2007). Tietokoneavusteiseen molekyyylimallinnukseen liittyvät haasteet ovat hyvin samankaltaisia TVT:n käytön haasteiden kanssa. Tällaisia haasteita ovat molekyyylimallinnukseen tarvittavan ajan puute, teknologisen ja pedagogisen sisältötiedon (TPCK) puuttuminen, molekyyylimallinnukseen tarvittavien laitteiden ja ohjelmistojen puuttuminen sekä liian isot ryhmäkoot opetuksessa (Aksela, & Lundell, 2008; Helppolainen & Aksela, 2015; Pernaa & Aksela, 2009).

Opettajien TVT:n käyttöä tutkittaessa on havaittu, että opettajien omat asenteet oppilaslähtöistä ja tieto- ja viestintäteknikkaa hyväksikäyttävää opetusta kohtaan ovat tärkeämmässä roolissa, kuin ulkoiset tekijät kuten koulun laitehankinnat ja työyhteisön tuki (Ertmer et al., 2012). Opettajien kokemat haasteet voidaan tutkimuksen mukaan jakaa kolmeen eri tasoon (Ertmer, 1999; Ertmer et al., 2012; Tsai & Chai, 2012). Ensimmäisen tason haasteet tietotekniikan käytössä opetuksessa ovat ulkoisia haasteita kuten, onko koululla saatavissa kannettavia tietokoneita ja molekyyylimallinnuksessa tarvittavia ohjelmistoja (Kuva 4). Toisen tason haasteet ovat sisäisiä haasteita kuten opettajien asenteet ja uskomukset tietokoneavusteisten menetelmien hyödyistä opetuksessa. Pelkkä opettajien usko tietokoneavusteisen molekyyylimallinnuksen opetuksellisiin hyötyihin ja koulun tarjoamat varusteet eivät usein riitä tietokoneavusteisten työkalujen tuomiseen opetukseen (Tsai & Chai, 2012). Kolmannen tason haaste on, että opettajien tulee tietää milloin ja miten tietokoneavusteisia ohjelmistoja käytetään opetuksessa. Opettajien on siis pystyttävä tarjoamaan opetussuunnitelmaan sopivia opetuskokonaisuuksia, joilla saavutetaan opetussuunnitelman määrittelemät opetukselliset tavoitteet.



**Kuva 4.** Opettajien kohtaamat haasteet tietokoneavusteisen opetuksen kanssa voidaan jakaa kolmeen tasoon (Ertmer, 1999; Ertmer et al., 2012; Tsai & Chai, 2012).

Teknologisen ja pedagogisen sisältötiedon (TPCK, joskus TPACK) määritelmä kuvailee, millaista tietotaitoa opettaja tarvitsee tietokoneavusteisten työkalujen, kuten molekyyylimallinnuksen käytössä, opetuksessa. TPCK tarjoaa tietoa siitä, mitkä pedagogiset menetelmät ja teknologiset ratkaisut sopivat tietyn aiheen opettamiseen (Kuva 5). Teknologinen ja pedagoginen sisältötieto kuvailee, miten teknologiaa on mahdollista käyttää tehokkaana osana tietyn aiheen opetusta ja oppimisen tukena (Chai, Koh & Tsai, 2013).



**Kuva 5.** Teknologinen ja pedagoginen sisältötieto eli TPCK (Koehler & Mishra, 2009).

Pedagoginen sisältötieto on tietoa siitä, miten aihetta voidaan opettaa. Se pitää sisällään tiedon siitä, mitkä pedagogiset menetelmät sopivat aiheen opetukseen. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi, missä järjestyksessä aiheen sisältö kannattaa opettaa, miten oppilaiden aiemmat tiedot vaikuttavat oppimiseen ja mitkä aiheet kannattaa opettaa esimerkiksi ryhmätyöskentelyn avulla ja mitkä sopivat itsenäiseen työskentelyyn. Teknologinen ja pedagoginen tieto on tietoa siitä, miten molekyylihallinnusta voidaan hyödyntää opetuksessa. Teknologisen ja pedagogisen tiedon avulla voidaan tietää, mitkä pedagogiset menetelmät sopivat mihinkin molekyylihallinnusohjelmistoihin. Teknologinen sisältötieto on tietoa siitä, miten eri teknologiset työkalut soveltuvat aiheen opetukseen. Tällaista tietoa on esimerkiksi eri ohjelmistojen sisältöjen tuntemus. Jotkin molekyylihallinnusohjelmistot sopivat paremmin suurien makromolekyylien mallinnukseen (esimerkiksi Spartan Student), kun taas toisilla ohjelmistoilla on helpompaa mallintaa pieniä molekyyliä (esimerkiksi Edumol ja Molview). Erityisesti teknologinen ja pedagoginen tieto sekä teknologinen sisältötieto tuottavat ongelmia osalle opettajista (Helppolainen & Aksela, 2015).

Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen haasteet voidaan ratkaista, kun seuraavat väittämät toteutuvat (Pernaa, Aksela & Ghulam, 2017).

- Opettaja tuntee opettavan aiheen tai ilmiön hyvin (sisältötieto).
- Opettajalla tuntee opetuksessa tarvittavat pedagogiset menetelmät (pedagoginen tieto).
- Opettaja osaa käyttää ja vertailla tietokoneavusteisia molekyylihallinnusohjelmistoja (teknologinen tieto).
- Opettaja tietää mitkä pedagogiset menetelmät sopivat kyseessä olevan aiheen opetukseen (pedagoginen sisältötieto) ja osaa hyödyntää tietoaan molekyylihallinnuksen ohjeistuksessa.



### **3. RELEVANSSI**

Tässä kappaleessa käsitellään relevanssikäsitteen määritelmää tutkimuskirjallisuuden perusteella ja aiheeseen liittyvää tutkimuksia ja sovelluksia.

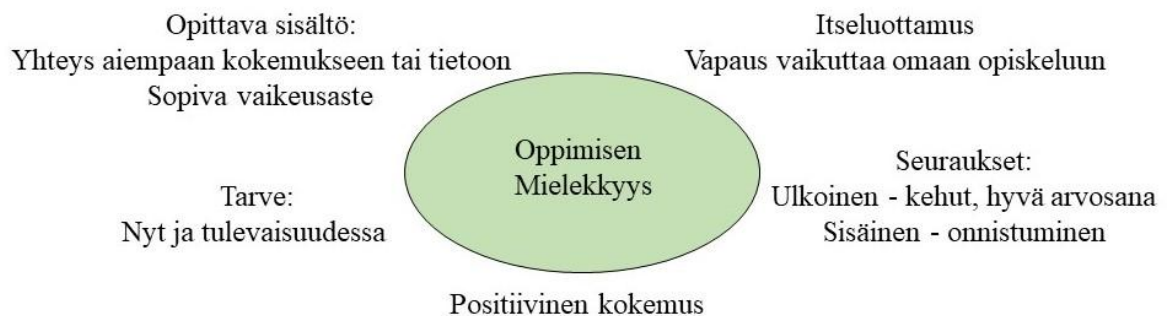
#### **3.1 Relevanssi tutkimuskirjallisuudessa**

Yleinen käsitys opetuskeskustelussa on, että kemia ja fysiikka eivät kiinnosta nuoria. Väitettä tukevat ulkomaiset tutkimukset (Hofstein, Eilks & Bybee, 2011; Holbrook, 2008), mutta myös vuonna 2011 julkaistu luonnontieteiden oppimistulosten kansallinen arviointi. Arvioinnin mukaan oppilaiden asenteet kemian opintoja kohtaan olivat kielteisiä (Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011). Yksi kielteisiin asenteisiin liitetty tekijä on, että opiskelijat eivät koe tiedeaineita (kemia ja fysiikka) relevantteina tulevaisuuden tai yhteiskunnan kannalta (Holbrook, 2008). Ratkaisuksi tiedeaineiden kiinnostuksen lisäämiseen tarjotaan relevanssin lisäämistä opetukseen (Newton, 1988; Holbrook, 2005).

Relevanssi termin määritelmä riippuu sen käyttäjästä, käyttäjän sosioekonomisesta taustasta ja kulttuurista (Knamiller, 1984). Tiedeaineiden opetuksen relevanssia käsittelevissä tutkimuksissa relevanssikäsite on liitetty esimerkiksi kiinnostukseen (Sjøberg & Schreiner, 2010), merkityksellisyyteen (Dewey, 1973) ja kontekstuaaliseen opetukseen (Gilbert, 2006). Useat artikkelit ja tutkimukset ehdottavat (Feng & Tuan, 2005; Keller & Kopp, 1987; Turner & Paris, 1995), että relevanssi tulisi määritellä usean tekijän kautta.

Tällaisia tekijöitä ovat Kellerin & Koppin mukaan (1987) motivaatio, opiskelijaan kohdistuva huomio ja opiskelijan kokema tyytyväisyys ja itseluottamus. Relevanssi voidaan Kellerin (1983) mukaan määritellä oppimiskokemuksen, opiskeluun käytetyn vaivan arvon (väärsti), opiskeltavan sisällön tulevaisuuden tarpeellisuuden, autonomian eli mahdollisuus vaikuttaa omaan opiskeluun ja henkilökohtaisten tarpeiden kohtaamisen mukaan. Turner ja Paris (1995) määrittelevät relevanssin motivaatiotekijöiden kautta, joita ovat autonomia, sopiva haasteellisuus, sopiva kontrolli, yhteistyö, merkityksellisyys ja positiiviset seuraukset.

On havaittu, että positiiviset kokemukset ja seuraukset lisäävät opiskelijoiden motivaatiota (Holbrook, 2008; Turner & Paris, 1995), joka edelleen lisää opiskelun relevanssia. Tällaisia positiivisia seurauksia ovat esimerkiksi kokemus onnistumisesta, kehu ja kannustaminen sekä esimerkiksi palkinto kuten hyvä arvosana. Feng ja Tuan (1995) määrittelevät motivaation lisäämisen kolmen päämäärän kautta. Motivaation ja relevanssin lisäämiseksi opiskelijan tulee tietää, miten uusi asia liittyy aiemmin opittuun tietoon tai kokemukseen. Lisäksi ymmärrys siitä, miksi uusi asia hyödyttää opiskelijaa nyt ja mihin tietoa tarvitaan tulevaisuudessa, lisää motivaatiota.



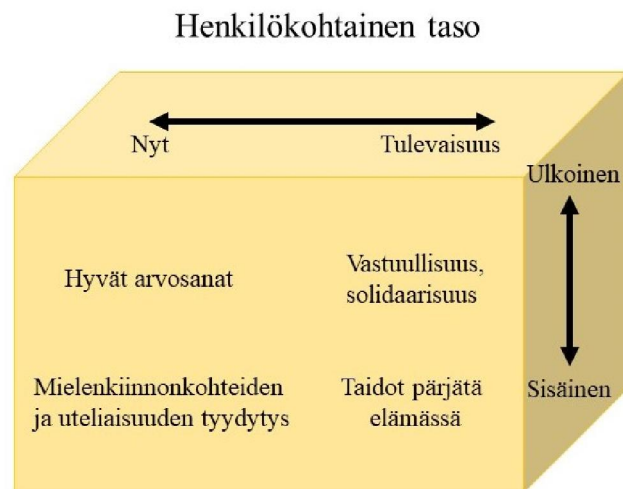
**Kuva 6.** Oppimiskokemukseen vaikuttavia tekijöitä tutkimuskirjallisuuden mukaan.

### 3.2 Relevanssiteoria

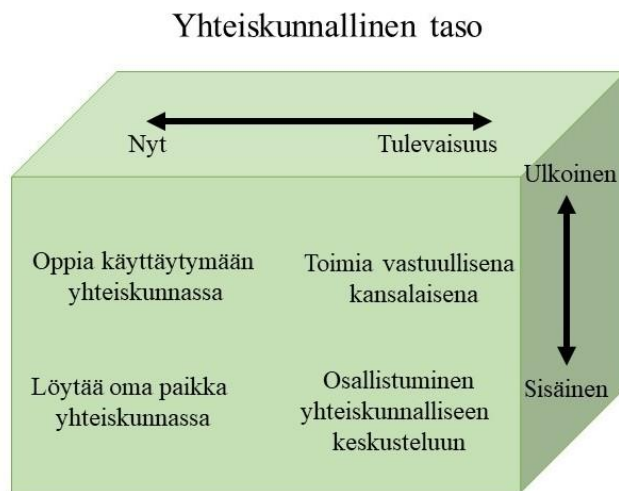
Koska tutkimuskirjallisuus tarjoaa erilaisia määritelmiä relevanssille, Stuckey et al. ovat pyrkineet kirjallisuuskatsauksessaan (2013) muodostamaan yhtenäisen määritelmän relevanssille. Relevanssiteorian mukaan relevanssi koostuu eri ulottuvuuksista. Näitä ulottuvuuksia ovat nykyhetki ja tulevaisuus, sisäinen ja ulkoinen sekä henkilökohtainen, yhteiskunnallinen ja ammatillinen taso.

Eri ulottuvuudet pohjautuvat kolmeen perusväitteeseen, joita ovat:

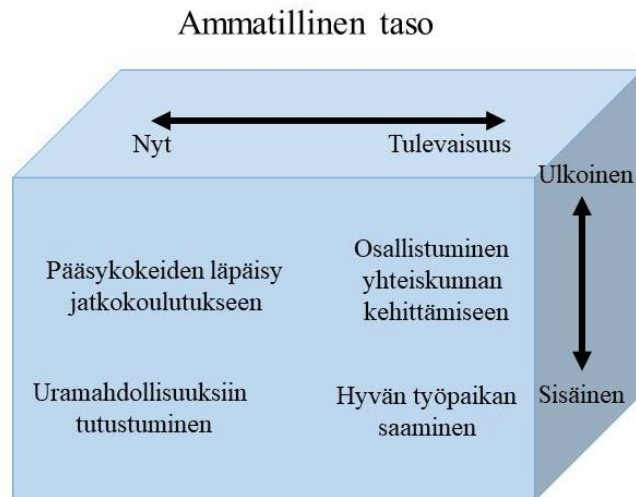
- Tiedeaineiden opetuksesta tulee relevanttia oppijalle, kun opetuksesta seuraa positiivisia kokemuksia.
- Relevanssin sisäisellä ulottuvuudella tarkoitetaan oppijan kokemaa kiinnostusta ja henkilökohtaisia motiiveja. Ulkoisella ulottuvuudella tarkoitetaan oletusta siitä, millaisessa ympäristössä, kulttuurissa ja yhteiskunnassa oppiminen tapahtuu.
- Relevanssi koostuu henkilökohtaisesta, yhteiskunnallisesta ja ammatillisesta tasosta. Tiedeopetuksessa tämä tarkoittaa sitä, että relevantti opetus tukee oppijan älyllistä kehitystä ja taitoja, lisää oppijan kykyä osallistua yhteiskunnalliseen keskusteluun ja päätöksentekoon nyt ja tulevaisuudessa sekä auttaa oppijaa hahmottamaan opittavaan sisällön yhteyden työelämään.



**Kuva 7.** Relevanssin ulottuvuudet henkilökohtaisella tasolla (Stuckey et al. 2013)



**Kuva 8.** Relevanssin ulottuvuudet yhteiskunnallisella tasolla (Stuckey et al. 2013)



**Kuva 9.** Relevanssin ulottuvuudet ammatillisella tasolla (Stuckey et al. 2013)

Saksalainen didaktikko Wolfgang Klafki on määritellyt relevanssin käsitteen sivistyksen kautta (2000a). Määritelmän mukaan opetus on relevanttia, kun oppilas ymmärtää opetuksen tavoitteet henkilökohtaisesti. Klafkin mukaan relevanssi voidaan nähdä osana sivistystä (Bildung) and yleissivistystä (Allgemeinbildung), joka pitää sisällään myös Stuckeyn et al. (2013)

määrittelemät relevanssin ulottuvuudet. Yleissivistys voidaan nähdä kykynä ymmärtää maailmaa, tavoitella omia tarpeita ja toimia osana yhteiskuntaa vastuullisena kansalaisena. Yleissivistävä koulutus on Klafkin mukaan relevanttia, sillä se ottaa huomioon oppilaan sen hetkiset tavoitteet, mutta myös tulevaisuuden.

Klafkin laatima Didaktik analysis -menetelmä (2000b) on tarkoitettu tekemään opetuksesta yleissivistävää eli relevanssia. Opetuksen sisällön relevanssia on tarkasteltava menetelmän mukaan seuraavien kysymysten kautta.

1. Mitä yleisesti tiedossa olevaa tai laajempaa aihetta tunnilla käsiteltävä aihe mallintaa? Mitä arkista ilmiötä, luonnonlakia, periaatetta, ongelmaa, menetelmää, tekniikkaa tai asennetta voidaan ymmärtää, kun valittua sisältöä käytetään esimerkkinä? Miksi oppilas tarvitsee tietoa aiheesta?
2. Millainen merkitys käsiteltävällä aiheella on oppilaille? Millaisia ennakkokäsityksiä oppilailla on? Millaisia taitoja ja tietoja he saattavat tarvita aiheen käsittelyyn? Miten käsitykset vaikuttavat pedagogisiin menetelmiin?
3. Millainen merkitys käsiteltävällä aiheella on oppilaiden tulevaisuuteen?
4. Miten käsiteltävää aihetta tulisi opettaa, kun ottaa huomioon kohdat I-III? Millainen oppituntien rakenne sopii sisällön opetukseen? Millaisen aiheeseen johdattelun aihe vaatii, millaisia siirtymiä tunnilla käytetään ja millaisia virhekäsityksiä oppilaille voi olla aiheesta? Millaista ennakkotietoa tai -taitoa oppilaille pitää olla, jotta he voivat seurata opetusta?
5. Miten aiheesta saa oppilaita motivoivan? Mikä lisää aiheen kiinnostavuutta oppilaiden silmissä? Millaisia malleja, kokeellisia töitä tai muita menetelmiä opetettavaan aiheeseen sopii? Miten aiheen saa yhdistettyä oppilaan jo olemassa oleviin kokemuksiin?

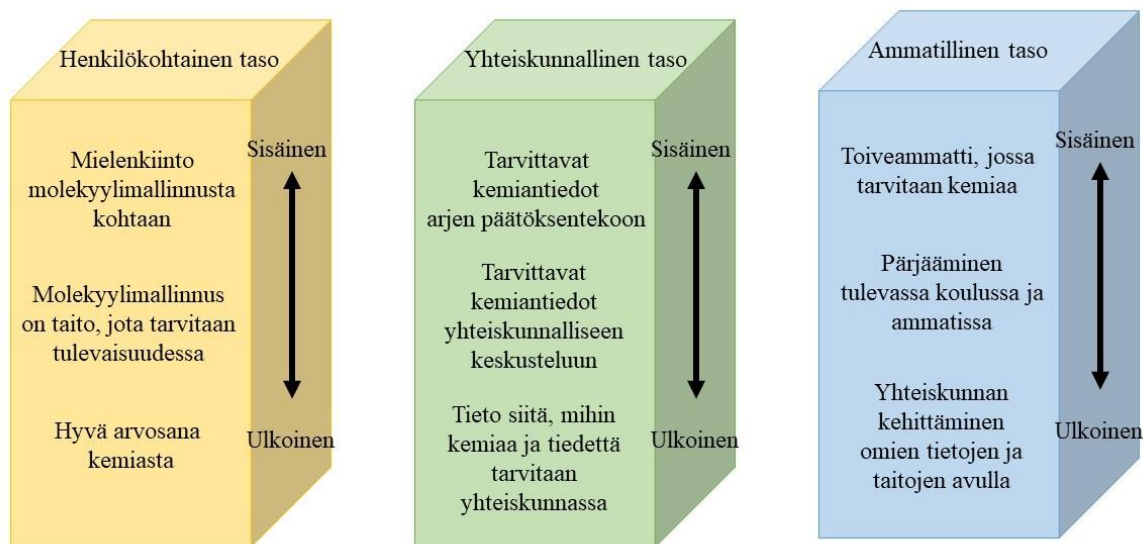
Peruskoulun tiedeaineiden opetuksen tulee Suomessa pohjautua koulukohtaiseen opetussuunnitelmaan, jonka tulee pohjautua valtakunnalliseen perusopetuksen opetussuunnitelman perusteisiin (Opetushallitus, 2014). Opetussuunnitelman perusteet on valtakunnallinen normi, joka määrittää opetuksen tavoitteet, sisällöt ja arvioinnin perusteet, jotta Suomessa järjestettävä perusopetus olisi tasa-arvoista. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa on otettu huomioon relevanssiteorian eri ulottuvuudet. Perusopetuksen tavoitteena

on laaja-alainen osaaminen, jonka tavoitteena on perusopetuksen tehtävän mukaisesti ja oppilaiden ikäkauden huomioon ottaen tukea ihmisenä kasvamista sekä edistää demokraattisen yhteiskunnan jäsenyyden ja kestävän elämäntavan edellyttämää osaamista (Opetushallitus, 2014). Laaja-alaisen osaamisen tavoitteita ovat ajattelu ja oppimaan oppiminen (L1), kulttuurinen osaaminen, vuorovaikutus ja ilmaisu (L2), itsestä huolehtiminen ja arjen taidot (L3), monilukutaito (L4), tieto- ja viestintäteknologinen osaaminen (L5), työelämätaidot ja yrittäjäyys (L6) sekä osallistuminen, vaikuttaminen ja kestävän tulevaisuuden rakentaminen (L7). Voidaan siis olettaa, että Opetushallitus tiedostaa päätöksenteossaan relevanssiteoriaan liittyvän tutkimustiedon. Suomessa ei ole kuitenkaan tehty tutkimusta siitä, kuinka hyvin edellä mainitut laaja-alaiset osaamisen tavoitteet näkyvät peruskoulujen opetuksessa.

### **3.3 Relevanssi tietokoneavusteisessa molekyylihallinnuksessa**

Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen käyttöä opetuksessa ei ole tutkittu aiemmin relevanssin näkökulmasta. Aikaisemmissa tutkimuksissa tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen on todettu lisäävän kemian opetuksen autenttisuutta ja kiinnostavuutta (Aksela & Lundell, 2008; Webb, 2005). Koska kiinnostus ja motivaatio voidaan katsoa osaksi henkilökohtaista relevanssin tasoa (Stuckey et al. 2013), on näiden tutkimusten tarkastelu relevanssin kannalta mielekästä. Akselan ja Lundellin tutkimuksessa (2008) tutkittiin tietokoneavusteista molekyylihallinnusta opetuksessa käyttävien kemianopettajien kokemuksia. Tutkimustulokset osoittavat, että opettajien mielestä tietokoneavusteinen molekyylihallinnus tukee oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan. Myös Webbin tutkimus vuodelta 2005 tukee Akselan ja Lundellin tutkimustuloksia opettajien kokemuksista. Tämän lisäksi tietokoneavusteisen opiskelun on todettu lisäävän oppilaiden opiskelumotivaatiota (Cox, 1997). Oppilaiden kiinnostusta tiedeaineita kohtaan on tutkittu myös ROSE-projektissa (Sjøberg & Schreiner, 2010), jossa pääpainona oli kahden sukupuolen välisen motivaatioeron selvittäminen eri tutkimukseen osallistuneissa maissa. Kiinnostuksen ja relevanssin ero kuitenkin on, että opiskelu voi olla relevanttia olematta kiinnostavaa (Stuckey et al. 2013).

Koska relevanssiteoriaa tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen osalta ei ole aiemmin tutkittu, opiskelun merkityksellisyyteen vaikuttavia tekijöitä ei voida tietää. Tietokoneavusteista molekyylihallinnusta voidaan pitää relevanttina relevanssiteorian mukaan, kun jokin seuraavista tekijöistä toteutuu (Kuva 10).



**Kuva 10.** Relevanssiteorian (Stuckey et al. 2013) ulottuvuudet molekyylihallinnuksessa.

Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen onnistumiseksi voidaan olettaa, että opettajalla on tarvittava tietotaito oppitunnin järjestämiseen ja ohjelmistojen käyttöön (Chai, Koh & Tsai, 2013). Opettajan tietotaidon puutteella voi olla merkittävä vaikutus molekyylihallinnuksen relevanssiin.

## 4. TUTKIMUS

Tässä kappaleessa kerrotaan kvantitatiivisen puolistrukturoidun kyselylomaketutkimuksen luonteesta, tavoitteista ja menetelmistä. Kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen tavoitteena on saada tietoa, joka on yleistettävissä. Tässä kappaleessa käsitellään kvantitatiivisen tutkimuksen tutkimusotteen vaatimuksia, jotka juontuvat empiirisestä tietoteoriasta. Määrällinen yleistettävissä oleva tieto on kriteereiltään tilastollismatemaattinen.

### 4.1 Tutkimusote

Tämän tutkimuksen kvantitatiivinen tutkimusote perustuu empiiriseen tietoteoriaan. Empirismen eli kokemusajattelun mukaan tieto perustuu havaintoihin ja kokemusperäiseen tutkimukseen. Empirismi liitetään usein nykyaikaiseen tieteelliseen tietoon, kuten luonnontieteisiin ja ihmistieteisiin, sillä sen näkemyksen mukaisesti kerätty tieto on joko vahvistettavissa tai kumottavissa. Tällä tavalla kerätyn tutkimusaineiston avulla voidaan saada tietoa induktiivisella eli yleistävällä päättelyllä, jossa kvantitatiivisen tutkimusotteen mukaisesti pyritään luomaan aineiston pohjalta yleistyksiä tilastollisin menetelmin. Empiirisen tietoteorian mukaan tieto perustuu sekä sisäisiin näkemyksiin kuten intuitioon ja deduktiiviseen päättelyyn (Haaparanta & Niiniluoto, 2016). Nykyaikainen käsitys tieteellisestä tiedosta yhdistää havainnoilla ja mittaamisella kerätyn tiedon teoreettiseen tietoon, jossa tutkimuksen kohteeseen perehdytään ajatusrakennelmien ja niiden tarkastelun avulla. Empiiriset tutkimukset siis luovat kosketuskohtia siihen todellisuuteen, johon filosofiset pohdinnat ottavat kantaa. (Puolimatka, 1995)

Määrällisen tutkimuksen tavoitteena on luoda yleistyksiä, eikä keskittyä yhden yksilön ajatteluun tai käyttäytymiseen. Tutkimuksen toteuttamiseen käytetyn mittarin, eli tässä tapauksessa kyselylomakkeen, tavoitteena on havainnoida molekyylihallinnuksen relevanssia mahdollisimman objektiivisesti. Kirjallisuudessa yleisesti pidetty objektiivisin menetelmä ilmiön mittaamiseen ihmistieteissä, kuten kasvatustieteessä, olisi havainnointi (Leontjev, 1977; Metsämuuronen, 2005). Koska kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä perustuu suurten otantamäärien mittaamiseen, havainnointi ei ole ajankäytöllisesti mahdollista. Mittauksessa



tulee kyetä optimoimaan mittaamisen käytetyn ajan käyttö suhteessa tutkimuksen yleistettävyyteen (Metsämuuronen, 2005). Pieni otanta tarkoittaa pientä yleistävyyttä eikä vastaa kvantitatiivisen tutkimukseen perustavoitteeseen luoda yleistyksiä.

Empiirisen kvantitatiivisen tutkimuksen mukaisesti myös tässä tutkimuksessa pyritään tutkimaan tietyn ilmiön ja siihen vaikuttavien syiden korrelaation tarkasteluun (Kiikeri & Ylikoski, 2004). Tutkimuksessa tarkastellaan relevanssiteorian yhteyttä molekyylihallinnukseen ja mitkä syyt vaikuttavat molekyylihallinnuksen relevanssiin. Koska tutkimustiedon (Aksela & Lundell, 2008; Webb, 2005) mukaan tietokoneavusteisella molekyylihallinnuksella on todettu olevan oppilaiden mielenkiintoa lisääviä seurauksia, voidaan olettaa, että tietokoneavusteinen molekyylihallinnus lisäisi jossakin määrin oppilaiden relevanssia. Tutkimuksessa keskitytään relevanssin ulottuvuuksien mittaamiseen, jolloin relevanssin tasoja verrataan toisiinsa. Relevanssin syitä pyritään tutkimuksessa vertaamaan oppilaan kiinnostuksen kohteisiin. Tutkimuksen hypoteesin mukaisesti relevanssin oletetaan olevan suurempaa oppilailla, jotka ovat kiinnostuneita kemiasta ja tietokoneista sekä tekniikasta, sillä tietokoneavusteinen molekyylihallinnus hyödyntää tietotekniikkaa kemian opetuksessa. On huomattava, että tutkimuksessa mitattu korrelaatio kahden ilmiön välillä ei kerro yhteyden suuntaa tässä tutkimuksessa. Tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin päätellä loogisesti esimerkiksi lisääkö kiinnostus kemiaa kohtaa molekyylihallinnuksen relevanssia vai lisääkö molekyylihallinnus kemian relevanssia.

## 4.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tutkimuskysymyksiä oli kaksi, joihin kumpaakin pyrittiin saamaan vastaus kyselylomakkeen monivalintakysymysten vastausten perusteella. Kysymykseen 1. voidaan johtaa vastaus vastausprosenttien keskiarvoja tarkastelemalla ja kysymykseen 2. voidaan johtaa vastaus monivalintakysymysten ristiintaulukoinnilla.

**1. Mitkä relevanssiteorian mukaiset ulottuvuudet korostuvat 7.–9. luokan oppilaiden tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen ensikokemuksessa?**

**2. Miten eri taustamuuttujat vaikuttavat tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen relevanssiin?**

**A. Vaikuttaako kiinnostus kemiaa kohtaan molekyylimallinnuksen relevanssiin?**

**B. Vaikuttaako kiinnostus tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan molekyylimallinnuksen relevanssiin?**

## 4.3 Tutkimuskohde

Tutkimus toteutettiin vuoden 2018 helmi- ja maaliskuun aikana ositetulla otannalla. Eivätunnainen ositettu otanta valittiin otantatavaksi, koska tutkimukseen haluttiin tiettyyn kohderyhmään kuuluvia vastaajia (Metsämuuronen, 2005). Kohderyhmänä olivat yläkoululaiset ja kyselylomaketutkimukseen vastaaminen suoritettiin heti tietokoneavusteisen molekyylimallinnustunnin jälkeen. Tutkittavat ryhmät valikoituivat kahdella tapaa. Suurin osa tutkimukseen osallistuneista oppilaista (N=83) oli vierailulla kemianluokka Gadolinissa, ja molekyylimallinnustunti toteutettiin osana vierailukäyntiä. Toinen tutkittava oppilasryhmä (N=47) koostui erään helsinkiläisen koulun oppilaista, joille molekyylimallinnustunti toteutettiin oppilaiden omassa koulussa osana normaalia kemian opetusta. Yhteensä tutkimukseen vastasi 130 oppilasta. Koska osa tutkimukseen vastanneista alaikäisistä oppilaista vastasi tutkimukseen yliopiston ulkopuolella, oli koulun rehtorin kanssa järjestetty tutkimuslupa tutkimukseen osallistuneiden luokkien vanhemmilta.

Tutkimuskyselyä edeltävä molekyylimallinnustunti koostui yleensä lyhyestä virittäytymisosiosta, jossa esiteltiin, mitä molekyylimallit ovat ja minkä takia niitä käytetään kemiassa. Virittäytymisosioiden pituus vaihteli muutamasta minuutista varttituntiin. Tämän jälkeen molekyylimallinnustunnilla aloitettiin mallintaminen tietokoneella. Käytettävänä ohjelmistoina toimivat SpartanStudent (N=65) ja Molview (N=65). Molekyylimallinnustunnin ohjaaja sai päättää käytettävän mallinnusohjelmiston. Ohjelmiston valintaan vaikutti mallinnustunnin sijainti yliopiston tietokoneluokassa, jossa tietokoneille on asennettu maksullisen lisenssin vaativa SpartanStudent. Muualla kuin tietokoneluokassa pidetyt mallinnustunnit käyttivät mallinukseen selainohjelmisto Molview:ta, joka on maksuton eikä vaadi laitteelle asennusta.

Kyselyyn vastanneet oppilaat eivät olleet aiemmin tehneet tietokoneavusteista molekyylimallinnusta. Kaikki vastanneet 8. ja 9. -luokalla olevat oppilaat (N=65) olivat tehneet molekyylimallinnusta aiemmin käsin rakennettavilla pallo-tikku-malleilla. Molekyylimallinnustunnilla mallinnettavissa molekyyleissä oltiin otettu huomioon oppilaiden oman kemianopettajan toiveet, jolloin mallinnettavat molekyylit vastasivat oppilaiden aikaisempaa sisällöllistä tuntemusta. Uusina aiheina mallinnuksen yhteydessä tuotiin käsite sidos (7.-luokka) ja IR-väriähtelyspektri (8. ja 9. -luokka). Lähes kaikki tutkimukseen vastanneet oppilaat pääsivät itse kokeilemaan molekyylimallinnusta lukuun ottamatta yhtä ryhmää (N=18), jossa oppilaat tekivät molekyylimallinnuksen kolmen- tai neljänhengen ryhmissä.

Yleisimpiä mallinnettavia molekyylejä olivat yksinkertaiset orgaaniset molekyylit kuten etaani, eteeni ja etyyni. Lähes kaikki ryhmät mallinsivat tietokoneella vesimolekyylin. Osa ryhmistä mallinsi yksinkertaisten orgaanisten molekyylien lisäksi suurempia molekyylejä kuten kofeiinin. Oppilailla oli halutessaan mahdollisuus leikkiä ohjelmistolla rakentaen omia mielikuvitusmolekyylejä. Arviolta noin puolet oppilaista intoutui leikkimään ohjelmistolla.

#### **4.4 Tutkimusmenetelmät**

Survey-tutkimus toteutettiin puoliavoimella kyselylomakkeella, joka koostui kahdesta avoimesta kysymyksestä ja strukturoiduista monivalintakysymyksistä. Tutkimuksen vastaukset analysointiin kvantitatiivisella sisällönanalyysillä. Sisällönanalyysissä käytettiin ristiintaulukointia ja Fisherin tarkkaa testiä.

##### **4.4.1 Kyselylomaketutkimus**

Survey-tutkimus toteutettiin kyselylomakkeella, koska sen avulla voidaan saada mahdollisimman paljon vastauksia suhteellisen lyhyessä ajassa. Lisäksi kyselylomaketutkimuksen hyvänä puolena voidaan pitää vastausten luotettavuutta, koska lomakkeesta ei voida identifioida vastaajaa tutkimuksen tapauksessa ja täten vastaaja voi kertoa rehellisen mielipiteensä anonyymisti. Tutkimusmenetelmän hyvänä puolena voidaan pitää myös tiedon analysoinnin nopeutta tilastollisilla menetelmillä ja standardoituja kysymyksiä, jolloin jokainen kyselyyn vastaaja saa tismalleen saman kysymyksen samassa muodossa. Kyselylomaketutkimuksen huonona puolena voidaan pitää pinnallista aineistoa, jonka perusteella ei voida sanoa, kuinka vakavasti vastaaja on suhtautunut tutkimukseen. Kyselylomaketutkimuksessa ei voida myöskään olla varmoja, kuinka hyvin tarjotut vastausvaihtoehdot ovat vastanneet vastaajan näkemystä kysytystä asiasta. Kyselylomaketutkimus on vaivatonta lähettää vastaanottajille esimerkiksi sähköpostin välityksellä. Tällöin vastausprosentti voi kuitenkin jäädä pieneksi. Informoitu kysely poistaa tämän ongelman usein, sillä tällöin tutkimuksen yhteydessä tutkija esittelee tutkimuksen ja jakaa kyselylomakkeet henkilökohtaisesti. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1997) Lasten ja nuorten vastaamista tukee tutkijan tai tiedonkerääjän läsnäolo tiedonkeruutilanteessa. Tällöin oppilailla on mahdollisuus kysyä ja tarkentaa ymmärrystään suoraan tutkimuksen tekijältä ja tutkija voi saada kyselylomakkeen ulkopuolelle jäävää tärkeää tietoa olemalla läsnä tiedonkeruutilanteessa. (Helavirta 2007)

Kyselylomakkeen laadinnassa on otettava huomioon kohderyhmä, kohderyhmän aiemmat tiedot aiheesta ja mihin tutkimuskysymyksiin lomakkeella halutaan saada vastaus. Kysymysten

asettelussa on otettava huomioon tutkimuksen tavoitteet ja sille asetetut taloudelliset ja ajankäytölliset rajoitteet. Usein hyvän kyselylomakkeen piirteinä pidetään selkeitä ja nopealukuisia kysymyksiä tai väittämiä, jotka ovat yksiselitteisiä. Vastamiseen käytettävä aika yritetään usein pitää mahdollisimman lyhyenä, jolloin avointen kysymysten määrää on syytä rajoittaa. Tätä tutkimusta varten laadittu ja esitestattu kyselylomake (Liite 1) on pyritty sovittamaan ikäryhmälle sopivaksi ja vastausajaltaan mahdollisimman lyhyeksi. Nämä tavoitteet on pyritty saavuttamaan selkeillä helppolukuisilla väittämillä, joihin tarjotaan vastauskategoriaksi toisensa poissulkevat vastausvaihtoehdot kyllä ja ei. Lisäksi vastausvaihtoehdoksi tarjottiin en osaa sanoa, jota ei tutkimuksessa oteta tilastollisesti huomioon, sillä se ei edusta kumpaakaan vastauskategoriaa. Tutkimuslomakkeen kaksi avointa kysymystä ovat oppilaille todennäköisesti entuudestaan tuttuja kysymyksiä, joihin vastaaminen onnistuu yhdellä sanalla. Strukturoidut eli toisensa poissulkevat valmiit vastausvaihtoehdot helpottavat tulosten analysointia ja vertailua. Vastausvaihtojen on tällöin sovittava vähintään yhteen vastauskategoriaan eli oltava tyhjentäviä, toisensa poissulkevia tai sisällöllisesti mielekkäitä. (Hotulainen, 2007)

#### 4.4.2 Kvantitatiivinen sisällönanalyysi

Määrällinen eli kvantitatiivinen sisällönanalyysi tarkoittaa aineiston analyysitapaa, jossa käytetään laskennallisia, tilastollisia ja täsmällisiä menetelmiä aineiston käsittelyyn. Menetelmä on yleinen ihmistieteissä, kuten yhteiskunta- ja kasvatustieteissä, joissa tutkimuksen tavoitteena on yleistysten tekeminen empiirisen aineiston perusteella. Kyselylomaketutkimuksessa saatu aineisto analysoitiin frekvensseinä tilasto-ohjelmisto SPSS:ää käyttämällä. SPSS-ohjelmiston avulla voidaan laskea aineiston kysymyskohtaiset frekvenssit eli esiintymistiheydet, jotka voidaan ilmoittaa esimerkiksi prosenttiosuuksina, jolloin vastauksissa huomioidaan vastaajien kokonaismäärä. Prosenttiosuuksista on esitetty tulostaulukoissa luottamusvälitarkastelu virhemarginaalin prosenttiyksikköinä. Otantavirhe on huomioitu luottamus tasolla 95 %, joka on yleisesti käytössä oleva luottamusväli otantavirheen arvioinnissa (Taanila, 2012).

$$1,96 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Prosenttiosuuden luottamusvälin laskennassa käytetty binomijakauman kaava, jossa  $n$  tarkoittaa otoskokoja ja  $p$  otoksesta laskettua prosenttiosuutta desimaalimuodossa. Kun otoskoko on 130, niin kaava antaa hyviä arvioita virhemarginaalille prosenttiosuuden ollessa 7,7 % ja 92,3 % välillä ja kohtalaisia arvioita virhemarginaalille prosenttiosuuden ollessa 3,9 % ja 96,1 %.

SPSS-ohjelmistolla frekvenssejä voidaan järjestellä ristiintaulukoinnilla. Ristiintaulukoinnin etuina voidaan pitää aineiston järjestämistä matriisiin, josta kahden muuttujan välistä yhteyttä voidaan tarkastella helposti. Ristiintaulukoinnin avulla voidaan huomata mielenkiintoiset yhteydet vastausten välillä, mutta nämä yhteydet voivat johtua myös sattumasta. Koska ristiintaulukointia voidaan pitää kohtuullisen alkeellisena keinona tarkastella kahden tekijän välistä yhteyttä, sen rinnalla käytetään yleensä eksaktimpia tilastollisia menetelmiä yhteyksien todistamiseksi, jolloin sattuman osuutta pyritään vähentämään.

Koska tutkimuksen kyselylomaketutkimuksessa saaduista frekvensseistä ei voida muodostaa pitkää toistosarjaa, mittaustuloksien perusteella havainnoidaan  $p$ -arvoja. Kertaluontoisissa mittauksissa, jossa aineiston kerääminen joudutaan tutkimuksen luonteesta johtuen rajaamaan ajallisesti tiettyyn ajanjaksoon, käytetään tekijöiden välisien korrelaatioiden tarkasteluun  $p$ -arvoa eli virhepäätelmän todennäköisyyttä. Tällä pystytään havainnoimaan, että mikäli tehtäisiin pitkä sarja samanlaisia kokeita, tulos olisi tästä poikkeava  $p$ -arvon osoittamissa määrissä tapauksia. (Metsämuuronen, 2005)

Tutkimuksissa, joissa analysoidaan aineiston  $p$ -arvoa, saatua arvoa verrataan nollahypoteesiin. Tutkimuksen nollahypoteesi määritellään usein muotoon, jossa nollahypoteesi pitää paikkansa, kunnes toisin todistetaan. Näin tilastollisessa tulosten tarkastelussa nollahypoteesia ei usein tarvitse ottaa huomioon. Nollahypoteesi voidaan tutkimuksissa aina todeta vain teoreettiseksi arvoksi, koska pelkästään otantavirheen takia  $p$  ei voi koskaan saavuttaa arvoa nolla.  $P$ -arvolla voidaan ilmaista merkitsevyyttä silloin, kuin sille on määritelty riskitaso, joka saa useimmiten tutkimuksissa  $p$ -arvon 0,001 eli 0,1 % tai 0,005 eli 0,5 %. Näin ollen, jos oletetaan, että nollahypoteesi pitää paikkansa, niin otoksen kaltainen tai siitä poikkeava tulos sattuu yhdessä tai viidessä otoksessa tuhannesta. Näin voidaan sanoa, että tuos on yllättävä ja siten todistetusti nollahypoteesin vastainen. (Metsämuuronen, 2005; Taanila, 2012) Tutkimuksissa  $p$ -arvoilla voidaan tarkoittaa eri asioita ja siten tutkimuksissa tutkijan tehtävänä on määritellä, mitä  $p$ -arvoa

tutkimuksessa käytetään. Tässä tutkimuksessa p-arvolla tarkoitetaan nollahypoteesin hylkäämisen merkitsevyystasoa eli onko kahden muuttujan välinen ero tilastollisesti merkittävä.

Tilastollisen merkittävyyden laskemiseksi tutkimuksessa käytetään Fisherin tarkkaa testiä (Fisher, 1925). Menetelmän valintaan vaikutti kategorinen vastausasteikko, jossa vastausvaihtoehdot ovat toisensa poissulkevia, mutta arvoltaan samanarvoisia. Kategoristen muuttujien tarkastelussa ei voida käyttää korrelaatioita, sillä korrelaatioita laskettaessa aineiston tulisi olla järjestysasteikollisessa muodossa. Tutkimuksen otantaluku on liian pieni khiin neliö -testin käyttämiseksi. Khiin neliö -testissä havaitun taulukon ja hypoteettisen taulukon eron testaaminen ei ole luotettavaa, jos hypoteettisen taulukon lukumäärät eli odotetut frekvenssit ovat liian pieniä (Ranta, Rita & Kouki, 1989; Taanila, 2012). Tutkimuksen tapauksessa usean väittämän vastauksia analysoidessa ei-vastausten frekvenssit ovat liian pieniä ristiintaulukoituina, jotta khiin neliö -testin edellytykset täytyisivät. Tämä tarkoittaa, että taulukossa, jossa on kaksi riviä ja kaksi saraketta (2×2 taulukko) ei saa olla yhtään alle viiden suuruista odotettua frekvenssiä ja suuremmissa taulukoissa alle viiden suuruisia odotettuja frekvenssejä saa olla viidesosa (20 %) kaikista odotetuista frekvensseistä. Alle yhden suuruisia odotettuja frekvenssejä ei saa olla lainkaan. (Taanila, 2012)

Kvantitatiiviselle sisällönanalyysille on tyypillistä käsitellä aineistoa siten, että khiin neliö -testin vähimmäisvaatimukset toteutuvat. Tämä voidaan toteuttaa yhdistelemällä sarakkeita siten, että khiin neliö -testiin vaadittavat frekvenssisuuruudet toteutuvat. Tässä tutkimuksessa aineiston manipulaatiota ei kuitenkaan toteuteta, sillä sen voidaan katsoa muuttavan kyselyn luonnetta liikaa. Väittämien vastauskategoriat (kyllä, ei ja en osaa sanoa) ovat saman arvoisia. Sarakkeita yhdistelemällä on mahdollista analysoida khiin neliö -testin avulla riippuvuuksia ja tällöin vastauskategoriat olisivat muotoa ”kyllä” ja ”muut vastaukset kuin kyllä”. Vastaukselle ”en osaa sanoa” ei voida kuitenkaan erotella syitä, miksi vastaaja on päätenyt valitsemaan kyseisen vastauksen. Vastaaja on voinut esimerkiksi vastata ”en osaa sanoa”, koska hän ei ole ymmärtänyt kysymystä tai hän ei ole varma mielipiteestään. Tämän takia vastausta ”en osaa sanoa” ei voida yhdistää esimerkiksi osaksi vastauskategoriaa ”ei”.

Fisherin tarkka testi on nelikenttä testi, joka sopii pienille otannoille. Nelikentät ovat kontingenssitaulukojen, eli ristiintaulukoitujen taulukoiden, erikoistapauksia, jotka koostuvat kahdesta rivistä ja kahdesta sarakkeesta. Ne ovat niin yksinkertaisia, että testisuureiden jakauma

voidaan laskea pienillekin otoksille. Fisherin tarkkaa testiä suositellaan käytettäväksi silloin, kuin havaintojen määrä jossakin solussa on pienempi kuin viisi (Metsämuuronen, 2005; Pallant, 2010; Ranta, Rita & Kouki, 1989). Fisherin nelikenttätesti perustuu siihen, että nelikentät, joissa kaikki reunasummat ovat kiinteitä, voidaan asettaa järjestykseen sen mukaan, kuinka voimakkaasti ne poikkeavat riippumattomuushypoteesin odotettujen frekvenssien taulukosta. Saatu merkitsevyys  $p$  on todennäköisyys sille, että nollahypoteesin mukaisesta perusjoukosta poimittu otos antaa tulokseksi havaittujen frekvenssien mukaisen taulun tai niistä enemmän poikkeavan taulun (äärevämmän taulun). (Metsämuuronen, 2005; Ranta, Rita & Kouki, 1989)

$$p = \frac{(a + b)! (c + d)! (a + c)! (b + d)!}{a! b! c! d! n!}$$

Fisherin tarkan testin laskukaava  $p$ -arvon laskemiseksi, kun frekvenssit ovat  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ja  $d$ .

Fisherin laskukaavalla saadulle  $p$ -arvolle määritellään riskitaso ja se saa arvon välillä  $0 - 1$ .

Edellä mainitun nollahypoteesin perusteella  $p$ -arvoa pidetään erittäin poikkeavana, kun se saa arvon  $\leq 0,001$  ja poikkeavana, kun se saa arvon  $\leq 0,005$ .

#### 4.5 Luotettavuustarkastelu

Tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida mittarin validiteettia ja reliabiliteettia tarkastelemalla. Reliabiliteetilla tarkoitetaan tutkimuksen toistettavuutta, kun taas validiteetilla tarkoitetaan luotettavuutta eli mittaako mittari sitä, mitä on tarkoitus tutkia. Validiteetti voidaan jakaa sisäiseen ja ulkoiseen validiteettiin. Ulkoinen validiteetti tutkii sitä, onko tutkimus yleistettävissä ja jos on, niin mihin ryhmiin. Sisäisellä validiteetilla tarkastellaan tutkimuksen omaa luotettavuutta. Sisäisen validiteetin avulla voidaan määritellä käsitteiden paikkansapitävyyttä, teorian sopimista tutkimuksen aiheeseen ja mittarin toimivuutta. Mikäli tutkimuksen asetelma on oikea, käsitteet ovat relevantteja, teoria on oikein johdettu ja otanta onnistunut, tutkimuksen validiteetti on hyvä. (Metsämuuronen, 2005).

Mittarin luotettavuutta voidaan parantaa usean tutkijan osallistumisella mittarin kehittelyprosessiin. Lisäksi luotettavuutta voidaan parantaa pilottitutkimuksella. Luotettavuustarkasteluissa on myös otettava huomioon, että pitkä mittari on usein luotettavampi



kuin lyhyt. (Metsämuuronen, 2005) Tutkimuksen reliabiliteettia analysoitaessa on otettava huomioon useita tekijöitä, kuten ymmärtääkö vastaaja kysymyksen eri tavalla kuin kysyjä tarkoittaa, vastaako vastaaja rehellisesti, onko vastaukseen tarjottu vaihtoehto, joka sopii vastaajaan mielipiteeseen väittämästä ja onko vastaukset kirjattu oikein. Myös satunnaiset tekijät kuten kellonaika, mielentila ja ympäristötekijät voivat vaikuttaa tulokseen. (Taanila, 2014)

Kyselylomakemittarin reliabiliteettia voidaan tarkastella kysymällä samaa asiaa useammassa kysymyksessä. Kahden kysymyksen vastausten välistä korrelaatiota voidaan mitata Cronbachin alfalla,  $\alpha$  (Cronbach, 1951). Cronbachin matemaattisen laskukaavan perusteella saatu  $\alpha$  arvo on hyväksyttävä, kun se saa arvon  $\alpha > 0,60$ .

$$\alpha = \left( \frac{k}{k-1} \right) \left( 1 - \frac{S_i^2}{S_t^2} \right)$$

Cronbachin alfan laskentakaava, missä  $k$  on osioiden lukumäärä,  $S_i^2$  on osioiden varianssien summa ja  $S_t^2$  on mittarin kokonaisvariassi.

Kahden samaa asiaa mittaavan väittämän ”Ymmärrän, miksi molekyylimallinnusta käytetään kemiassa.” ja ”Ymmärrän, mihin molekyylimallinnusta tarvitaan.” välinen Cronbachin alfa saa arvon  $\alpha = 0,789$ . Myös kemian opiskelua tulevaisuudessa mittaavien kysymysten välinen Cronbachin korrelaatio saa hyväksyttävän alfan arvon. Väittämien ”Kemian osaaminen on minulle hyödyllistä tulevaisuudessa.”, ” Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.” ja ”Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.”  $\alpha = 0,926$ . Tämä tarkoittaa sitä, että vastaajat ovat vastanneet samaa kysyviin kysymyksiin samalla tavalla.

Luotettavuustarkastelussa on mittarin ja menetelmien lisäksi tarkasteltava otantamenetelmää. Ositettu otanta valittiin tutkimuksen otantamenetelmäksi, koska tutkimukseen vastaamiseen vaikuttaa merkittävästi se, tietääkö vastaaja mitä tarkoittaa tietokoneavusteinen molekyylimallinnus ja onko hänellä kokemuksia siitä. Kyselylomakkeeseen ei ole mahdollista vastata tutkimuksen tavoitteita vastaavalla tavalla ilman, että on itse kokeillut tietokoneavusteista molekyylimallinnusta tai nähnyt käytettävän sitä. Ositetulla otannalla

pystytään varmistamaan, että tutkimuksen kohderyhmä on haluttu. Tutkimuksen otanta vastaa perusjoukkoa siltä osin, ettei tutkimukseen ole valittu vastaajia esimerkiksi koulun, arvosanan tai nimen perusteella. Vastaajat ovat eri kaupungeista tavallisia yläkoulun oppilaita, jotka ovat kokeilleet ainakin kerran molekyylimallinnusta tietokoneella.

Ulkoista validiteettia tarkastellessa on otettava huomioon tutkimuksen suhteellisen pienen otantakoko ( $N=130$ ) ja aineiston keräämiseen varattu suhteellisen lyhyt aika (kaksi kuukautta), jonka voidaan katsoa riittävän pro gradu -tutkielmaan, mutta ei esimerkiksi pitkittäistutkimukseen. Tutkimuksen ulkoista validiteettia voitaisiin parantaa suurentamalla otantakoko esimerkiksi tutkimalla Gadolinin vierailijaryhmiä usean vuoden ajan. Pienen otantakoon takia tutkimuksen yleistettävyydestä ei voida olla varmoja. Otannan perusteella ei myöskään voida arvioida oppimisympäristön vaikutusta relevanssiin, sillä osa tutkimuksesta suoritettiin formaalissa oppimisympäristössä (koulussa) ja osa non-formaalissa oppimisympäristössä (yliopiston kampus). Tutkimukseen vastanneet oppilaat olivat oppivelvollisuuden alaisia, joten otannan voidaan olettaa koostuvan tavallisista oppilaista, jotka eivät ole valikoituneet tutkimukseen harrastuneisuutensa perusteella vaan osana perusopetusta. On mahdollista, että osa tutkimukseen osallistuneista oppilaista oli pääsykokeiden kautta valituilla painotetuilla luokilla kuten liikunta-, matematiikka tai musiikkiluokalla.

Tutkimuksen sisäistä validiteettia voidaan tarkastella Cohenin kappa-arvon avulla. Koska tutkimuskysymysten muodostamiseen ja kyselylomakkeen laadintaan osallistui useampi tutkija, tutkimuksen sisäistä validiteettia voidaan tarkastella kahden tutkijan luokittelua testaamalla. Cohenin kappa-arvo on klassinen ja usein käytetty yhtenevyyden mitta, jossa kaksi tai useampi toisistaan riippumatonta henkilöä arvioi samoilla kriteereillä samaa kohdetta (Metsämuuronen, 2005). Tutkimuksen Cohenin kappa-arvoa laskettaessa kaksi tutkijaa luokitteli kyselylomakkeen kysymykset kolmeen kategoriaan (henkilökohtainen, ammatillinen ja yhteiskunnallinen) sen mukaan, mitä relevanssin ulottuvuutta kysymyksellä heidän mielestään mitattiin.

**Taulukko 1.** Cohenin kappa-arvoa varten toteutetun luokittelutestin tulokset.

Luokit- telija 2	Luokittelija 1				
	Kategoriat	Henkilökohtainen	Yhteiskunnalli- nen	Ammatilli- nen	Rivisumma R
	Henkilökohtai- nen	7	-	1	8
	Yhteiskunnalli- nen	-	4	-	4
	Ammatillinen	-	-	4	4
	Sarakesumma C	7	4	5	16

$$\kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e}$$

Cohenin kappa-arvo  $\kappa$  lasketaan käyttämällä kaavaa, jossa  $p_0$  on osuus, josta tutkijat ovat yhtä mieltä (yhtäpitävyys) ja  $p_e$  on tulos, joka voidaan saavuttaa sattumalta (oletettu sattuma). Mitä lähempänä kappa-arvo  $\kappa$  on arvoa 1, sitä yhteneväisempiä kahden tutkijan tekemä luokittelu on ollut toisiaan. Kun kappa-arvo on yli 0,80 luokittelun luotettavuuden voidaan katsoa olevan erinomainen. (Metsämuuronen, 2005; Sim & Wright, 2005) Kyselylomaketutkimuksen kysymysten luokittelun Cohenin kappa-arvoksi saadaan  $\kappa = 0,902$ , jota voidaan pitää yhtäpitävänä. Cohenin kappa-arvon mukaan tutkimuksen sisäinen validiteetti on erinomainen.

Koska kyselylomaketutkimuksessa annettiin vastausvaihtoehdoksi kaksi toisensa poissulkevaa vastausvaihtoa kyllä ja ei, täytyy tuloksissa ottaa huomioon vastaajien taipumus sosiaaliseen suotavuuteen. Sosiaalinen suotavuus tarkoittaa vastaajan halua vastata valita se vastausvaihtoehto, jota he arvelevat odotettavan eli jonka he arvelevat olevan suotava vastaus (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1997). Tutkimuslomakkeen (Liite 1) viimeisten kysymysten (väittämät 19. ja 21.) vastausten pohjalta voidaan nähdä, että suurin osa vastaajista (N=108) ymmärsi, mitä tunnilla käsiteltiin ja piti tunnin ohjeita selkeinä (N=116). Näin ollen voidaan olettaa, että suurin osa vastaajista ymmärsi, mitä molekyylihallinnuksella tarkoitettiin kyselyssä ja mitä tunnilla oli tarkoitus tehdä.

## 5. TULOKSET

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksen taustatiedot ja tulokset tutkimuskysymyksittäin.

### 5.1 Taustatiedot

Tutkimuksessa käytetyn kyselylomakkeen taustakysely (Liite 1) koostui lomakkeen alkuun sijoitetuista monivalintataustakysymyksistä, joita olivat luokka-aste ja sukupuoli. Vastausvaihtoehdot oli annettu valmiiksi. Monivalintakysymyksiäkysymyksiä seurasi kaksi avointa taustakysymystä, joiden avulla kartoitettiin nuorten lempiainetta ja toiveammattia. Avointen kysymysten jälkeen seurasi monivalintaosuus, jossa muun muassa kartoitettiin vastaajien asennetta kemiaa kohtaan, eri relevanssin ulottuvuuksien esiintymistä ja molekyylihallinnustuntia kokemuksena.

Kyselyyn vastasi 130 oppilasta, joista tyttöjä oli 54 vastaajaa (42 %) ja poikia 59 vastaajaa (45 %). 17 oppilasta (13 %) ei halunnut vastata sukupuolta koskevaan kysymykseen. Luokka-asteittain oppilaat jakautuivat seuraavasti: 65 vastaajista oli 7. luokalla (50 %), 45 vastaajista oli 8. luokalla (35 %) ja 20 vastaajaa 9. luokalla (15 %). Kyselytutkimukseen osallistuneiden oppilaiden lempiaineita koulussa olivat liikunta, matematiikka ja kemia (Taulukko 2). Yleisimmät toiveammatit olivat lääkäri, asianajaja ja erilaiset ammattiurheilijat (Kuva 11).

**Taulukko 2.** Tutkimukseen vastanneiden oppilaiden lempiaineet koulussa.

Lempiaine koulussa	Vastausten lukumäärä	Lempiaine koulussa	Vastausten lukumäärä	Lempiaine koulussa	Vastausten lukumäärä
liikunta	48	luonnontieteet	3	maantieto	2
kemia	12	äidinkieli	3	käsityö	1
matematiikka	12	kotitalous	3	kuvataide	1
musiikki	9	biologia	3	saksa	1
englanti	6	yhteiskuntaoppi	2	suomi	1
fysiikka	5	historia	2	uskonto	1



**Kuva 11.** Oppilaiden toiveammatteja. Eniten vastauksia keränneet ammatit ovat kuvassa suuremmalla.

Avointen kysymysten vastauksia vertaamalla kiinnostukseen kemiaa kohtaan voidaan huomata, että oppilaat, jotka nimesivät lempiaineekseen kemian, matematiikan tai muun luonnontieteeksi luokitellun oppiaineen, kokivat myös kemian mielenkiintoiseksi. Oppilaat, jotka nimesivät lempiaineekseen musiikin, olivat myös kiinnostuneita kemiasta. Muilla lempiaineilla ei ollut yhteyttä kiinnostukseen kemiaa kohtaan. Koska hajonta toiveammateissa on suurempaa, ei toiveammatin voida sanoa vaikuttavan esimerkiksi kiinnostukseen kemiaa kohtaan muussa kuin ”lääkäri” vastauksen kohdalla. Lääkäriin ammatista haaveilevat oppilaat (N=7) kokevat kemian mielenkiintoiseksi kyselyn perusteella ja vastasivat myös arvelevansa tarvitsemansa kemiaa tulevissaan opinnoissaan, mutta eivät välttämättä tulevassa ammatissaan.

## 5.2 Relevanssiteorian mukaisten ulottuvuuksien korostuminen oppilaiden tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen ensikokemuksessa

Tutkimuslomakkeen (Liite 1) monivalintakysymyksillä (väittämät 3. – 18.) pyrittiin mittaamaan tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen relevanssia ja sen eri ulottuvuuksien esiintymistä. Oppilaalle esitettyihin väittämiin pystyi strukturoidussa monivalintaosuudessa vastaamaan kyllä, ei tai en osaa sanoa. Vastaamatta jättäminen, epäselvät merkinnät ja useamman

vastausvaihtoehdon ruksiminen tulkittiin lomakkeessa ”en osaa sanoa” vastaukseksi. Relevanssin ulottuvuuksia mitattiin vastauksien prosenttiosuuksilla. Eri väittämät jaoteltiin mittaamaan eri relevanssin ulottuvuuksia. Eniten kyllä-vastauksia saaneet relevanssin ulottuvuudet voidaan tulkita relevanteimmiksi oppilaiden näkökulmasta (Taulukko 3.)

**Taulukko 3.** Relevanssin tasoja mittaavien väittämien vastausten prosenttiosuudet ja prosenttiosuuksien virhemarginaalit laskettuna 95% luottamustasolla, jolloin otantavirhe on huomioitu.

Väittämä	Relevanssin ulottuvuudet	Kyllä (%)	Ei (%)	En osaa sanoa (%)
		Virhemarginaali (%-y)	Virhemarginaali (%-y)	Virhemarginaali (%-y)
3. Molekyylimallinnus oli minusta kivaa.	Henkilökohtainen Nykyhetki Sisäinen	<b>60,0</b>	<b>15,4</b>	<b>24,6</b>
		8,4	6,2	7,4
4. Molekyylimallinnus oli minusta helppoa.	Henkilökohtainen Nykyhetki Sisäinen	<b>69,2</b>	<b>10,0</b>	<b>20,8</b>
		7,9	5,1	7,0
5. Haluaisin tehdä molekyylimallinnusta lisää.	Henkilökohtainen Tulevaisuus Sisäinen	<b>30,0</b>	<b>28,5</b>	<b>41,5</b>
		7,9	7,8	8,5
6. Tulen tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa.	Henkilökohtainen Tulevaisuus Sisäinen	<b>13,8</b>	<b>27,7</b>	<b>58,5</b>
		5,9	7,7	8,5
7. Kemian osaaminen on minulle hyödyllistä tulevaisuudessa.	Henkilökohtainen Tulevaisuus Ulkoisen	<b>49,2</b>	<b>13,1</b>	<b>37,7</b>
		8,6	5,8	8,3
9. Molekyylimallinnus auttoi minua ymmärtämään kemiaa paremmin.	Henkilökohtainen Nykyhetki Sisäinen	<b>52,3</b>	<b>19,2</b>	<b>28,5</b>
		8,6	6,8	7,8
10. Molekyylimallit ovat mielestäni hienon näköisiä.	Henkilökohtainen Nykyhetki Sisäinen	<b>63,1</b>	<b>13,1</b>	<b>23,8</b>
		8,3	5,8	7,3
11. Molekyylimallinnus on tärkeää tieteellisessä tutkimuksessa.	Yhteiskunnallinen Nykyhetki Ulkoisen	<b>68,5</b>	<b>3,1</b>	<b>28,5</b>
		8,0	-	7,8
12. Tulevaisuudessa tiedettä tehdään yhä enemmän tietokoneilla.	Yhteiskunnallinen Tulevaisuus Ulkoisen	<b>86,9</b>	<b>1,5</b>	<b>11,5</b>
		6,0	-	5,5

13. Tieteen avulla voidaan suojella luontoa ja eläimiä.	Yhteiskunnallinen Nykyhetki Sisäinen	<b>73,8</b>	<b>4,6</b>	<b>21,5</b>
		7,6	3,6	7,1
14. Ymmärrän maailmaa enemmän, kun osaan kemiaa.	Yhteiskunnallinen Tulevaisuus Sisäinen	<b>54,6</b>	<b>15,4</b>	<b>30,0</b>
		8,6	6,2	7,9
15. Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.	Ammatillinen Tulevaisuus Sisäinen	<b>31,5</b>	<b>16,9</b>	<b>51,5</b>
		8,0	6,4	8,6
16. Tarvitsen tulevassa ammatissani kemiaan osaamista.	Ammatillinen Tulevaisuus Sisäinen	<b>19,2</b>	<b>20,8</b>	<b>60,0</b>
		6,8	7,0	8,4
17. Molekyyli­mallinnus on tärkeä työkalu kemistille.	Ammatillinen Nykyhetki Ulkoinen	<b>74,6</b>	<b>0,8</b>	<b>24,6</b>
		7,5	-	7,4
8. Molekyylien kehittäminen on luovaa työtä.	Ammatillinen Nykyhetki Ulkoinen	<b>59,2</b>	<b>7,7</b>	<b>33,1</b>
		8,5	4,6	8,1
18. Ymmärrän, miksi molekyyli­mallinnusta käytetään kemiassa.	Ammatillinen Nykyhetki Sisäinen	<b>79,2</b>	<b>3,1</b>	<b>17,7</b>
		7,0	-	6,6

Koska tutkimuksessa haluttiin tarkastella prosenttiosuuksien kyllä-vastauksien saamaa suosiota relevanssin ulottuvuuksien suosion mittaamiseksi, prosenttiosuuksista laskettiin keskiarvot. Relevanssien ulottuvuuksien prosenttiosuudet ovat seuraavat (virhemarginaalia ei huomioitu).

- Henkilökohtainen taso, kyllä-vastausten prosenttiosuuksien keskiarvo 48,2 %.
- Yhteiskunnallinen taso, kyllä-vastausten prosenttiosuuksien keskiarvo 70,9 %.
- Ammatillinen taso, kyllä-vastausten prosenttiosuuksien keskiarvo 52,7 %.
- Sisäinen taso, kyllä-vastausten prosenttiosuuksien keskiarvo 49,7 %.
- Ulkoinen taso, kyllä-vastausten prosenttiosuuksien keskiarvo 67,7 %.
- Nykyhetki, kyllä-vastausten prosenttiosuuksien keskiarvo 66,7 %.
- Tulevaisuus, kyllä-vastausten prosenttiosuuksien keskiarvo 40,7 %.

Keskiarvojen perusteella voidaan sanoa, että relevanssin tasoista tutkimuksessa korostuivat yhteiskunnallinen taso, ulkoinen taso ja nykyhetki.

### 5.3 Taustamuuttujien vaikutus tietokoneavusteisen molekyyli­mallinnuksen relevanssiin

Tutkimuksessa pyrittiin etsimään relevanssiin vaikuttavia tekijöitä. Taustamuuttujien vaikutusta relevanssiin tutkittiin kyselylomakkeen (Liite 1) taustakysymyksien (kysymykset 1. ja 2.) ja relevanssikysymysten (kysymykset 3. – 18.) ristiintaulukoinnilla.

#### 5.3.1 Kemiasta kiinnostuksen vaikutus relevanssiin

Koska molekyyli­mallinnus on yksi kemian opetuksessa käytetyistä menetelmistä, voidaan olettaa, että oppilas, joka pitää kemiaa mielenkiintoisena, on myös kiinnostunut kemian opetuksessa käytettävistä opetusmenetelmistä jossakin määrin. Lisäksi tutkimuksissa (Aksela & Lundell, 2008; Webb, 2005) on havaittu tietokoneavusteisen molekyyli­mallinnuksen lisäävän kemian opetuksen mielekkyyttä ja autenttisuutta. Relevanssikäsitteellä voidaan nähdä yhteys opetuksen merkityksellisyyteen ja mielekkyyteen käsitteellisellä tasolla (Stuckey et al. 2013).

Kiinnostusta kemiaa kohtaan mitattiin kyselylomakkeessa väittämällä 1. ”Kemia on mielestäni mielenkiintoista.”. Suurin osa tutkimukseen osallistuneista oppilaista piti kemiaa mielenkiintoisena oppiaineena (N=94). Yhdeksän vastaajan mielestä kemia ei ole mielenkiintoista ja 27 vastaajaa ei osannut sanoa. Luokka-asteittain vastaukset jakautuivat seuraavasti (Taulukko 4).

**Taulukko 4.** Mielenkiinto kemiaa kohtaan luokka-asteittain ristiintaulukoituna.

1. Kemia on mielestäni mielenkiintoista.					
Luokka-aste		Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Yhteensä
7. luokka	Lukumäärä N	50	3	12	65
	Prosenttiosuus %	76,9	4,6	18,5	100
8. luokka	Lukumäärä N	30	3	12	45
	Prosenttiosuus %	66,7	6,7	26,7	100
9. luokka	Lukumäärä N	14	3	3	20
	Prosenttiosuus %	70,0	15,0	15,0	100
Yhteensä	Lukumäärä N	94	9	27	130
	Prosenttiosuus %	72,3	6,9	20,8	100



Väittämän 1. vastauksia verrattiin ristiintaulukoinnin avulla relevanssin eri ulottuvuuksiin. Alla olevan taulukon (Taulukko 5) mukaan voidaan nähdä, että oppilaat, jotka pitivät kemiaa mielenkiintoisena pitivät molekyylihallinnusta kivana (N=66) ja helppona (N=70) työskentelytapana.

**Taulukko 5.** Kiinnostus kemiaa kohtaan suhteessa henkilökohtaiseen relevanssiin ristiintaulukoituna.

Mielenkiinto kemiaan suhteessa henkilökohtaiseen relevanssiin.		Kemia on mielestäni mielenkiintoista.			
		Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Yhteensä
Molekyylihallinnus oli minusta kivaa.	Kyllä	66	2	10	78
	Ei	8	7	5	20
	En osaa sanoa	20	0	12	32
	Yhteensä	94	9	27	130
Molekyylihallinnus oli minusta helppoa.	Kyllä	70	6	14	90
	Ei	6	3	4	13
	En osaa sanoa	18	0	9	27
	Yhteensä	94	9	27	130
Haluaisin tehdä molekyylihallinnusta lisää.	Kyllä	35	1	3	39
	Ei	19	7	11	37
	En osaa sanoa	40	1	13	54
	Yhteensä	94	9	27	130
Tulen tarvitsemaan molekyylihallinnusta tulevaisuudessa.	Kyllä	15	0	3	18
	Ei	16	9	11	36
	En osaa sanoa	63	0	13	76
	Yhteensä	94	9	27	130
Kemian osaaminen on minulle hyödyllistä tulevaisuudessa.	Kyllä	56	0	8	64
	Ei	5	8	4	17
	En osaa sanoa	33	1	15	49
	Yhteensä	94	9	27	130
Molekyylihallinnus auttoi minua ymmärtämään kemiaa paremmin.	Kyllä	56	2	10	68
	Ei	12	7	6	25
	En osaa sanoa	26	0	11	37
	Yhteensä	94	9	27	130
Molekyylihallit ovat mielestäni hienon näköisiä.	Kyllä	65	2	10	77
	Ei	9	7	6	22
	En osaa sanoa	20	0	11	31
	Yhteensä	94	9	27	130

Ristiintaulukoinnin tuloksista voidaan nähdä, että vaikka vastaaja piti kemiaa kiinnostavana, hän ei silti osannut sanoa, tuleeko hän tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa (N=63). Suurin osa vastaajista, joiden mielestä kemia on mielenkiintoista, piti kemian osaamista itselleen tulevaisuudessa hyödyllisenä (N=56). Suuri osa vastaajista (N=33) ei kuitenkaan osannut sanoa, onko kemian osaaminen heille tulevaisuudessa hyödyllistä. Enemmistö oppilaista, joiden mielestä kemian on mielenkiintoista arvioi, että molekyylimallinnus auttoi heitä ymmärtämään kemiaa paremmin (N=56). Myös kemiaa mielenkiintoisena pitävien enemmistön (N=65) mielestä molekyylimallit olivat hienon näköisiä.

Ainoastaan 15 vastaajaa, jotka pitivät kemiaa mielenkiintoisena aineena, arvelivat tarvitsevansa molekyylimallinnusta myös tulevaisuudessa. 16 vastaajaa, joiden mielestä kemia on mielenkiintoista, arveli, että ei tule tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa. Kysymykseen numero 6, jossa kysyttiin, tuleeko oppilas omasta mielestään tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa, vastasi myöntävästi vain 18 oppilasta. Suurin osa vastaajista ei osaa sanoa, tulevatko he tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa. 36 vastaajaa arveli, että hän ei tule tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa.

Tulosten todennäköisyyden laskennassa käytettiin Fisherin tarkkaa testiä. Fisherin tarkka testi on nelikenttätesti, jonka takia riippuvuuksia analysoitaessa ei laskettu mukaan vastausvaihtoehdon ”En osaa sanoa” riippuvuutta. Taulukossa 6 on esitelty Fisherin tarkalla testillä saadut todennäköisyydet väittämien riippuvuuksille.

**Taulukko 6.** Henkilökohtaisen relevanssin ja kiinnostuksen kemiaa kohtaa välisen riippuvuuden *p*-arvot Fisherin tarkalla testillä laskettuna.

Väittämä	1. Kemia on mielestäni mielenkiintoista. (Fisherin <i>p</i> )
3. Molekyylimallinnus oli minusta kivaa.	0,000
4. Molekyylimallinnus oli minusta helppoa.	0,051
5. Haluaisin tehdä molekyylimallinnusta lisää.	0,007
6. Tulen tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa.	0,015
7. Kemian osaaminen on minulle hyödyllistä tulevaisuudessa.	0,000
9. Molekyylimallinnus auttoi minua ymmärtämään kemiaa paremmin.	0,001
10. Molekyylimallit ovat mielestäni hienon näköisiä.	0,006

Fisherin nelikenttätestin mukaan (Taulukko 6) kiinnostus kemiaa kohtaan (väittämä 1) ja henkilökohtaisen relevanssin välillä on erittäin merkitsevä riippuvuus (Fisherin  $p \leq 0,001$ ) väittämien 3., 7. ja 9. välillä. Väittämien 5., 6. ja 10 saamat arvot ovat melkein merkitseviä (Fisherin  $p \leq 0,05$ ). Oppilaat, jotka ovat kiinnostuneita kemiasta, pitävät todennäköisesti myös molekyylimallinnuksesta, kokevat tarvitsevansa kemiaa tulevaisuudessa ja kokevat, että molekyylimallinnus auttoi heitä ymmärtämään kemiaa paremmin. Taulukossa 7. verrataan molekyylimallinnuksen relevanssin yhteiskunnallista ulottuvuutta kiinnostukseen kemiaa kohtaan ristiintaulukoinnilla.

**Taulukko 7.** Kiinnostus kemiaa kohtaan suhteessa yhteiskunnalliseen relevanssiin ristiintaulukoituna.

Mielenkiinto kemiaan suhteessa yhteiskunnalliseen relevanssiin.		Kemia on mielestäni mielenkiintoista.			
		Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Yhteensä
Molekyylimallinnus on tärkeää tieteellisessä tutkimuksessa.	Kyllä	71	3	15	89
	Ei	2	2	0	4
	En osaa sanoa	21	4	12	37
	Yhteensä	94	9	27	130
Tulevaisuudessa tiedettä tehdään yhä enemmän tietokoneilla.	Kyllä	82	9	22	113
	Ei	1	0	1	2
	En osaa sanoa	11	0	4	15
	Yhteensä	94	9	27	130
Tieteen avulla voidaan suojella luontoa ja eläimiä.	Kyllä	76	2	18	96
	Ei	4	1	1	6
	En osaa sanoa	14	6	8	28
	Yhteensä	94	9	27	130
Ymmärrän maailmaa enemmän, kun osaan kemiaa.	Kyllä	61	0	10	71
	Ei	8	8	4	20
	En osaa sanoa	25	1	13	39
	Yhteensä	94	9	27	130

Ristiintaulukoinnin perusteella voidaan nähdä, että oppilaat, jotka pitävät kemiaa mielenkiintoisena, pitävät myös molekyylihallinnusta tärkeänä tieteellisessä tutkimuksessa (N=71). Kemiasta kiinnostuneet oppilaat uskovat, että tulevaisuudessa tiedettä tehdään yhä enemmän tietokoneilla ja että tieteen avulla voidaan suojella ympäristöä. Fisherin nelikenttätestin tulokset vastauksille kyllä ja ei on esitelty taulukossa 8.

**Taulukko 8.** Yhteiskunnallisen relevanssin ja kiinnostuksen kemiaa kohtaa välisen riippuvuuden *p*-arvot Fisherin tarkalla testillä laskettuna.

Väittämä	1. Kemia on mielestäni mielenkiintoista. (Fisherin <i>p</i> )
11. Molekyylihallinnus on tärkeää tieteellisessä tutkimuksessa.	0,019
12. Tulevaisuudessa tiedettä tehdään yhä enemmän tietokoneilla.	1,000
13. Tieteen avulla voidaan suojella luontoa ja eläimiä.	0,172
14. Ymmärrän maailmaa enemmän, kun osaan kemiaa.	0,000

Fisherin nelikenttätestin mukaan (Taulukko 8) kiinnostus kemiaa kohtaan (väittämä 1) ja yhteiskunnallisen relevanssin välillä on erittäin merkitsevä riippuvuus (Fisherin  $p \leq 0,001$ ) väittämän 14. suhteen. Väittämän 11. ja 1. välillä voidaan sanoa olevan kohtalainen merkitsevyys (Fisherin  $p \leq 0,05$ ). Oppilaat, jotka ovat kiinnostuneita kemiasta, kokevat ymmärtävänsä maailmaa enemmän, kun he osaavat kemiaa. Ammatillisen relevanssin väittämien suhdetta mielenkiintoon kemiaa kohtaan esitellään taulukossa 9.

**Taulukko 9.** Kiinnostus kemiaa kohtaan suhteessa ammatilliseen relevanssiin ristiintaulukoituna.

Mielenkiinto kemiaan suhteessa ammatilliseen relevanssiin.		Kemia on mielestäni mielenkiintoista.			
		Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Yhteensä
Molekyylien kehittäminen on luovaa työtä.	Kyllä	62	3	12	77
	Ei	4	3	3	10
	En osaa sanoa	28	3	12	43
	Yhteensä	94	9	27	130
Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.	Kyllä	36	0	5	41
	Ei	10	6	6	22
	En osaa sanoa	48	3	16	67
	Yhteensä	94	9	27	130
Tarvitsen tulevassa ammatissani kemiaan osaamista.	Kyllä	24	0	1	25
	Ei	12	6	9	27
	En osaa sanoa	58	3	17	78
	Yhteensä	94	9	27	130
Molekyylihallinnus on tärkeä työkalu kemistille.	Kyllä	71	6	20	97
	Ei	1	0	0	1
	En osaa sanoa	22	3	7	32
	Yhteensä	94	9	27	130
Ymmärrän, miksi molekyylihallinnusta käytetään kemiassa.	Kyllä	80	5	18	103
	Ei	2	1	1	4
	En osaa sanoa	12	3	8	23
	Yhteensä	94	9	27	130

Ristiintaulukoinnin perusteella voidaan nähdä, että oppilaat, jotka pitävät kemiaa mielenkiintoisena, pitävät myös molekyylihallinnusta tärkeänä työkaluna kemisteille (N=71). Kemiasta kiinnostuneet oppilaat ovat myös vastanneet ymmärtävänsä, miksi molekyylihallinnusta tarvitaan kemiassa (N=80). Vaikka oppilaat olisivat kertoneet olevansa kiinnostuneita kemiasta, he eivät osaa sanoa, tarvitsevatko he kemiaa tulevaisuuden ammatissaan tai opiskelussaan. Fisherin nelikenttätestin tulokset ammatillisen tason vastauksille kyllä ja ei on esitelty taulukossa 10.

**Taulukko 10.** Ammatillisen relevanssin ja kiinnostuksen kemiaa kohtaa välisen riippuvuuden *p*-arvot Fisherin tarkalla testillä laskettuna.

Väittämä	1. Kemia on mielestäni mielenkiintoista. (Fisherin <i>p</i> )
8. Molekyylien kehittäminen on luovaa työtä.	0,010
15. Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.	0,000
16. Tarvitsen tulevassa ammatissani kemiaan osaamista.	0,004
17. Molekyylihallinnus on tärkeä työkalu kemistille.	1,000
18. Ymmärrän, miksi molekyylihallinnusta käytetään kemiassa.	0,193

Fisherin nelikenttätestin mukaan (Taulukko 10) kiinnostus kemiaa kohtaan (väittämä 1) ja ammatillisen relevanssin välillä on erittäin merkitsevä riippuvuus (Fisherin  $p \leq 0,001$ ) väittämän 15. suhteen. Väittämän 8. ja 16. välillä voidaan sanoa olevan merkitseviä (Fisherin  $p \leq 0,01$ ). Oppilaat, jotka ovat kiinnostuneita kemiasta, arvelevat tarvitsevänsä tulevaisuuden opinnoissaan kemiaa. Osa kemiasta kiinnostuneista vastaajista arvelee myös sen lisäksi tarvitsevänsä tulevassa ammatissaan kemiaa ja pitää molekyylien kehittelyä luovana ammattina.

Fisherin tarkan testin arvot muille ulottuvuuksille jakautuvat siten, että sisäisen ulottuvuuden väittämät saavat keskimäärin pienempiä (merkitsevämpiä) *p*-arvoja, kuin ulkoisen ulottuvuuden todennäköisyydet. Nykyhetken ja tulevaisuuden välillä erot *p*-arvoissa ovat pienempiä ja merkitsevämpiä *p*-arvoja saa keskimäärin tulevaisuus.

### 5.3.2 Tietokoneista ja tekniikasta kiinnostuksen vaikutus relevanssiin

Tietokoneavusteinen molekyylihallinnus on tietokoneella tapahtuvaa kemian opiskelua, jossa molekyylihallinnusohjelmisto toimii opetuksen työkaluna. Tietokoneavusteisen opiskelun on todettu lisäävän oppilaiden opiskelumotivaatiota (Cox, 1997). Koska henkilökohtaisen sisäisen relevanssin ja motivaation välillä voidaan nähdä yhteys (Stuckey et al. 2013), tutkimuksessa päädyttiin tarkastelemaan myös tietokoneista ja tekniikasta kiinnostuksen vaikutuksia molekyylihallinnuksen relevanssiin (tutkimuskysymys 2.).

Tietokoneita ja tekniikkaa piti mielenkiintoisena alle puolet vastaajista (N=60). 37 vastaajaa ei pitänyt tietokoneita ja tekniikkaa mielenkiintoisena ja 33 vastaajaa ei osannut sanoa. Luokka-asteen vaikutus kiinnostukseen tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan (väittämä 2. kyselylomakkeessa) on ristiintaulukoitu taulukossa 11.

**Taulukko 11.** Mielenkiinto tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan luokka-asteittain ristiintaulukoituna.

2. Olen kiinnostunut tietokoneista ja tekniikasta.					
Luokka-aste		Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Yhteensä
7. luokka	Lukumäärä N	26	24	15	65
	Prosenttiosuus %	40,0	36,9	23,1	100
8. luokka	Lukumäärä N	23	8	14	45
	Prosenttiosuus %	51,1	17,8	31,1	100
9. luokka	Lukumäärä N	11	5	4	20
	Prosenttiosuus %	55,0	25,0	20,0	100
Yhteensä	Lukumäärä N	60	37	33	130
	Prosenttiosuus %	46,2	28,5	25,4	100

Taulukon 11. perusteella voidaan nähdä, että kiinnostus tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan kasvaa luokka-asteen kasvaessa. Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen relevanssin ja kiinnostuksen tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan välistä yhteyttä mitataan taulukossa 12.

**Taulukko 12.** Kiinnostus tietokoneita kohtaan suhteessa henkilökohtaiseen relevanssiin ristiintaulukoituna.

Mielenkiinto tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan suhteessa henkilökohtaiseen relevanssiin.		Olen kiinnostunut tietokoneista ja tekniikasta.			
		Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Yhteensä
Molekyyli­mallinnus oli minusta kivaa.	Kyllä	31	22	25	78
	Ei	10	8	2	20
	En osaa sanoa	19	7	16	32
	Yhteensä	60	37	33	130
Molekyyli­mallinnus oli minusta helppoa.	Kyllä	40	31	19	90
	Ei	8	2	3	13
	En osaa sanoa	12	4	11	27
	Yhteensä	60	37	33	130
Haluaisin tehdä molekyyli­mallinnusta lisää.	Kyllä	17	10	12	39
	Ei	19	13	5	37
	En osaa sanoa	24	14	16	54
	Yhteensä	60	37	33	130
Tulen tarvitsemaan molekyyli­mallinnusta tulevaisuudessa.	Kyllä	14	1	3	18
	Ei	14	15	7	36
	En osaa sanoa	32	21	23	76
	Yhteensä	60	37	33	130
Kemian osaaminen on minulle hyödyllistä tulevaisuudessa.	Kyllä	32	18	14	64
	Ei	7	9	1	17
	En osaa sanoa	21	10	18	49
	Yhteensä	60	37	33	130
Molekyyli­mallinnus auttoi minua ymmärtämään kemiaa paremmin.	Kyllä	31	18	19	68
	Ei	12	8	5	25
	En osaa sanoa	17	11	9	37
	Yhteensä	60	37	33	130
Molekyyli­mallit ovat mielestäni hienon näköisiä.	Kyllä	37	23	22	82
	Ei	10	6	1	17
	En osaa sanoa	13	8	10	37
	Yhteensä	60	37	33	130

Taulukosta 12. voidaan nähdä, että erot vastaajien välillä ovat asettuneet tasaisemmin vastaasyhdistelmien kesken kuin kiinnostusta kemiaa kohtaan ja relevanssin ulottuvuuksia mittaavissa taulukoissa (Taulukot 5., 7. ja 9.). Kiinnostuksella tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan ole yhtä suurta riippuvuutta henkilökohtaista relevanssia mittaavien väittämien kanssa kuin kiinnostuksella kemiaa kohtaan. Taulukossa 13. on esitelty ammatillisen ja yhteiskunnallisen relevanssin suhdetta väittämään, jolla mitattiin kiinnostusta tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan.



**Taulukko 13.** Kiinnostus tietokoneita kohtaan suhteessa ammatilliseen ja yhteiskunnalliseen relevanssiin ristiintaulukoituna.

Mielenkiinto tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan suhteessa ammatilliseen ja yhteiskunnalliseen relevanssiin.		Olen kiinnostunut tietokoneista ja tekniikasta.			
		Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Yhteensä
Molekyylihallinnus on tärkeää tieteellisessä tutkimuksessa.	Kyllä	43	24	22	89
	Ei	2	2	0	4
	En osaa sanoa	15	11	11	37
	Yhteensä	60	37	33	130
Tulevaisuudessa tiedettä tehdään yhä enemmän tietokoneilla.	Kyllä	53	35	25	113
	Ei	1	1	0	2
	En osaa sanoa	6	1	8	15
	Yhteensä	60	37	33	130
Tieteen avulla voidaan suojella luontoa ja eläimiä.	Kyllä	47	22	27	96
	Ei	3	3	0	6
	En osaa sanoa	10	12	6	28
	Yhteensä	60	37	33	130
Ymmärrän maailmaa enemmän, kun osaan kemiaa.	Kyllä	36	16	19	71
	Ei	7	11	2	20
	En osaa sanoa	17	10	12	39
	Yhteensä	60	37	33	130
Molekyylien kehittäminen on luovaa työtä.	Kyllä	33	25	19	77
	Ei	7	2	1	10
	En osaa sanoa	20	10	13	43
	Yhteensä	60	37	33	130
Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.	Kyllä	24	7	10	41
	Ei	9	11	2	22
	En osaa sanoa	27	19	21	67
	Yhteensä	60	37	33	130
Tarvitsen tulevassa ammatissani kemiaan osaamista.	Kyllä	13	5	7	25
	Ei	12	12	3	27
	En osaa sanoa	35	20	23	78
	Yhteensä	60	37	33	130
Molekyylihallinnus on tärkeä työkalu kemistille.	Kyllä	47	26	24	97
	Ei	1	0	0	1
	En osaa sanoa	12	11	9	32
	Yhteensä	60	37	33	130
Ymmärrän, miksi molekyylihallinnusta käytetään kemiassa.	Kyllä	52	27	24	103
	Ei	1	2	1	4
	En osaa sanoa	7	8	8	23
	Yhteensä	60	37	33	130

Taulukosta 13 voidaan nähdä, että kiinnostuksella tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan ei ole juurikaan merkittävää yhteyttä ammatilliseen ja yhteiskunnalliseen relevanssiin. Taulukossa 14. on tarkasteltu väittämien välisiä suhteita Fisherin tarkan testin avulla. Fisherin tarkkatesti on nelikenttätesti, jonka takia vastauksia ”en osaa sanoa” ei ole huomioitu  $p$ -arvoa laskettaessa.

**Taulukko 14.** Henkilökohtaisen, yhteiskunnallisen ja ammatillisen relevanssin ja kiinnostuksen tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan välisen riippuvuuden  $p$ -arvot Fisherin tarkalla testillä laskettuna.

Väittämä	2. Olen kiinnostunut tietokoneista ja tekniikasta. (Fisherin $p$ )
3. Molekyylihallinnus oli minusta kivaa.	1,000
4. Molekyylihallinnus oli minusta helppoa.	0,188
5. Haluaisin tehdä molekyylihallinnusta lisää.	0,796
6. Tulen tarvitsemaan molekyylihallinnusta tulevaisuudessa.	0,003
7. Kemian osaaminen on minulle hyödyllistä tulevaisuudessa.	0,242
9. Molekyylihallinnus auttoi minua ymmärtämään kemiaa paremmin.	0,792
10. Molekyylihallinnus ovat mielestäni hienon näköisiä.	1,000
11. Molekyylihallinnus on tärkeää tieteellisessä tutkimuksessa.	0,620
12. Tulevaisuudessa tiedettä tehdään yhä enemmän tietokoneilla.	1,000
13. Tieteen avulla voidaan suojella luontoa ja eläimiä.	0,394
14. Ymmärrän maailmaa enemmän, kun osaan kemiaa.	0,028
8. Molekyylien kehittäminen on luovaa työtä.	0,295
15. Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.	0,034
16. Tarvitsen tulevassa ammatissani kemiaan osaamista.	0,208
17. Molekyylihallinnus on tärkeä työkalu kemistille.	1,000
18. Ymmärrän, miksi molekyylihallinnusta käytetään kemiassa.	0,284

Taulukosta 14. voidaan nähdä, että kiinnostuksella tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan ei ole juurikaan merkittävää yhteyttä relevanssiin tai sen eri tasoihin. Ainoastaan väittämän 6. ”Tulen tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa.” ja väittämän 2. ”Olen kiinnostunut tietokoneista ja tekniikasta.” välillä voidaan sanoa olevan tilastollisesti merkittävä merkitsevyys (Fisherin  $p \leq 0,005$ ). Väittämien 14. ja 15. sekä väittämän 2. välillä voidaan sanoa olevan pieni merkitsevyys (Fisherin  $p \leq 0,05$ ). Eroja vertailtaessa on huomioitava, että merkitsevyyden ero on väittämien 6. ja 14. sekä 15. välillä kymmenkertainen. Tulosten perusteella oppilaat, jotka ovat kiinnostuneita tietokoneista ja tekniikasta arvioivat tarvitsevansa molekyylimallinnusta tulevaisuudessa. Tämän lisäksi tietotekniikasta kiinnostuneet oppilaat arvioivat myös tarvitsevansa kemialla tulevissa oppinnoissaan ja ammatissaan.

## **6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA**

Tässä kappaleessa esitetään edellisen kappaleen tuloksiin pohjaavaa pohdintaa ja johtopäätöksiä, joita vertaillaan aiheesta saatuun aikaisempaan tutkimustietoon ja käsitteiden määrittelyyn. Tutkimustulosten perusteella johdetaan vastaukset tutkimuskysymyksiin.

### **6.1 Tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen relevanssi**

Relevanssin mittaaminen perustuu tässä tutkimuksessa Stuckey et al. määritelmälle (2013) relevanssista. Myös muita relevanssin määritelmiä on ja ne painottuvat yleensä tutkijan omien tarkoituksien mukaan. Stuckey et al. määrittelemä relevanssiteoria päätettiin ottaa tämän tutkimuksen johtavaksi määritelmäksi, koska siinä käsitellään relevanssia tiedeopetuksen näkökulmasta. Relevanssiteorioita voidaan kritisoida esimerkiksi niissä esiintyvien puutteiden ja näkökantaerojen takia. Tutkimuksessa käytettyä relevanssiteoriaa voidaan pitää tiedeaineiden opetukseen erikoistuneena yleistyksenä relevanssista ja siinä esitettäviä relevanssin ulottuvuuksia voidaan pitää pinnallisina ja relevanssia välineellistävänä verrattuna kognitiivisia ja episteemisiä ulottuvuuksia korostaviin relevanssiteorioihin (mm. Wilson & Sperber, 2004). Tässä tutkimuksessa tutkittiin opetusmenetelmän relevanssia, joten käytetyn relevanssin määritelmän keskittyminen opetuksen edistämiseen ja saavutettaviin hyötyihin, on tutkimuksen kannalta edullista.

### 6.1.1 Relevanssin ulottuvuuksien korostuminen

Relevanssin mittaamisen täytyy perustua kirjallisuudessa (Stuckey et al., 2013) esitettyyn määritelmään, jotta tuloksia voitaisiin pitää vertailukelpoisena. Mittarin laadinnassa käytetty taustateoria pohjaa relevanssin määritelmään, jossa se määritellään ulottuvuuksiensa kautta (Kuvat 7.–9.). Ulottuvuuksia mittaamalla voidaan saada selville, minkä laatuista oppilailla esiintyvä relevanssi on. Näin saatu tieto on yksityiskohtaisempaa, kuin vain tutkimukseen pohjaava toteamus relevanssin olemassaolosta tai sen puuttumisesta.

Kyselylomaketutkimuksen vastausten perusteella voidaan johtaa vastaus tutkimuskysymykseen 1. Kysymykseen, mitkä relevanssiteorian mukaiset ulottuvuudet korostuvat 7.–9. luokan oppilaiden tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen ensikokemuksessa, voidaan vastata taulukossa 3. esitettyjen relevanssin tasoja mittaavien väittämien vastausten prosenttiosuuksien ja niiden keskiarvojen perusteella. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että relevanssin tasoista tutkimuksessa kyllä-vastauksia saivat eniten yhteiskunnallinen taso, ulkoinen taso ja nykyhetki. Tämän tuloksen perusteella voidaan esittää päätelmä, että oppilaat ymmärtävät tieteen, kemian ja molekyylihallinnuksen merkityksen yhteiskunnallisella tasolla. Kemistit ja tutkijat tarvitsevat molekyylihallinnusta oppilaiden näkökulmasta, mutta omakohtaista tulevaisuudentarvetta kemiaa tai molekyylihallinnusta kohtaan vaikea arvioida.

Koska eri relevanssin tasot eivät ole tutkimuksellisesti hierarkkisia, ei tutkimustuloksia voida sanoa hyviksi tai huonoiksi. Tietokoneavusteisen molekyylihallinnus on ensikokemuksen perusteella lähinnä yhteiskunnallisesti relevanttia. Koska tutkimuksessa kartoitettiin ainoastaan ensikokemuksen jälkeen relevanssia, ei voida sanoa lisäkö molekyylihallinnustunti oppilaiden relevanssia. Jatkotutkimuksena voitaisiin toteuttaa tutkimus, jossa oppilaiden relevanssia mitattaisiin ennen tietokoneavusteista molekyylihallinnusta ja sen jälkeen. Näin voitaisiin saada selville, lisääkö molekyylihallinnus oppilaiden relevanssia tai esimerkiksi yhteiskunnallisen relevanssin esiintyvyyttä. Kemian opetuksessa työskentelytavoilla on havaittu olevan suuri merkitys oppilaiden asenteisiin. Erityisesti kokeelliset työskentelytavat tuottavat positiivisia oppimistuloksia ja asenteita kemian opetuksessa. (Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011)

### 6.1.2 Kiinnostuksen kemiaa tai tietokoneita kohtaan vaikutus relevanssiin

Relevanssiin vaikuttavia tekijöitä pyrittiin selvittämään ristiintaulukoinnilla (Taulukot 4.–14.). Tutkimuskysymykseen 2., miten eri taustamuuttujat vaikuttavat tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen relevanssiin, pystytään johtamaan vastaus ristiintaulukoinnin perusteella. Alakysymykseen A, vaikuttaako kiinnostus kemiaa kohtaan molekyylihallinnuksen relevanssiin, pystyttiin johtamaan vastaus Fisherin tarkan testin avulla. Tulosten perusteella kiinnostuksella kemiaa kohtaa on tilastollisesti merkittävä yhteys erityisesti henkilökohtaiseen ja sisäisiin relevanssin ulottuvuuksiin. Alakysymykseen B, vaikuttaako kiinnostus tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan molekyylihallinnuksen relevanssiin, saatiin vastaukseksi neutraali riippuvuus. Kiinnostuksella tietokoneita ja tekniikkaa kohtaan ei ole tilastollisesti merkittävää riippuvuutta molekyylihallinnuksen relevanssiin. Muita tutkimuksessa havaittuja tekijöitä kiinnostukseen kemiaa kohtaan ja sitä kautta henkilökohtaiseen relevanssin ulottuvuuteen oli vastaajien luokka-aste.

Keskimäärin kyselyyn vastanneiden kesken korostuvat ulottuvuudet olivat yhteiskunnallinen taso, ulkoinen taso ja nykyhetki, kemiasta kiinnostuneiden oppilaiden relevanssilla on tilastollisesti merkittävä riippuvuus erityisesti sisäisellä tasolla, tulevaisuudessa ja henkilökohtaisessa ulottuvuudessa. Vastausten perusteella kemiasta kiinnostuneet oppilaat kokevat tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen keskimäärin eri tavalla relevantiksi, kuin koko otoksen oppilaat yhteensä.

Tämä tutkimus toteutettiin osana Helsingin yliopiston opintoja. Yliopiston läsnäolo näyttäytyi myös oppilaille, jotka osallistuivat tutkimukseen formaalissa oppimisympäristössään, sillä oppilaille ja heidän vanhemmilleen kerrottiin molekyylihallinnustunnin olevan osa Helsingin yliopiston tutkimusta. Kemianlaitoksella Gadolin-vierailulla olleille korkeakoulun läsnäolo näyttäytyi vielä vahvemmin tutkimuksen yhteydessä. Tutkimustuloksia tarkastellessa tulee siis ottaa huomioon, että oppilaiden relevanssin yhteiskunnallinen taso oli mahdollisesti korostunut sen takia, että he tiedostivat tutkimuksen olevan osa tieteellistä tutkimusta ja korkeakouluopintoja. Koska koulujen ja yritysten välistä yhteistyötä lisäämällä voidaan lisätä oppilaiden relevanssia (Hofstein & Kesner, 2006), voi olla mahdollista, että koulujen ja yliopistojen välisellä yhteistyöllä on myös relevanssia lisäävä vaikutus. Jotta yliopiston ja

tieteelliseen tutkimukseen osallistumisen vaikutusta tuloksiin voitaisiin arvioida, tulisi tutkimus toteuttaa oppilaiden omassa koulussa oman opettajan molekyylihallinnustunnin jälkeen lomakkeella, joka esittelään vastaajille tavallisena kyselynä opiskelumenetelmän mielekkyydestä.

Laajassa oppimis- ja asennetutkimuksessa (Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011) saadut tulokset osoittavat, että asenteet kemiaa kohtaan ovat negatiivisia. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella 72 % vastaajista koki kemian mielenkiintoiseksi aineeksi (Taulukko 4). Lisäksi enemmistö vastaajista piti molekyylihallinnusta kivana ja helppona työtapana (Taulukko 3). Näiden tulosten perusteella asenteet kemiaa kohtaan ovat positiivisia (vertaa Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011). Tutkimusten asenteellisia eroja ei kuitenkaan voida verrata suoraan toisiinsa, sillä Kärnä et al. tutkimus oli laajempi, mittasi asennetta eikä relevanssia, toteutettiin osana kemian osaamista mittaavaa tutkimusta ja mittasi asennetta Likert-asteikolla.

Tutkimuksessa saatuihin tuloksiin kemian ja molekyylihallinnuksen mielekkyydestä vaikuttavia tekijöitä ei voida todistaa tieteellisesti. Tuloksiin vaikuttavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi aktiivinen, pidetty tai ammattitaitoinen kemianopettaja, painotettu luokka (esimerkiksi luonnontiedeluokka) tai luokka-aste. Kemia on vähitellen vaikeutuva oppiaine, joten 7. luokalla opetus voi olla oppilaiden mielestä helppoutensa takia mielenkiintoisempaa kuin vanhempien oppilaiden mielestä (Taulukko 4). Opettajan merkitystä oppilaiden motivaatioon (Skinner & Belmont, 1993) ja relevanssiin (Assor, Kaplan & Roth, 2010) on tutkittu aiemmin ja sillä on havaittu olevan suuri merkitys. Myös Kärnä, Hakola ja Kuusela havaitsivat tutkimuksessaan (2011), että koulujen välillä oli tilastollisesti erittäin merkitseviä eroja asennoitumisessa kemian opiskeluun.

## **6.2 Tutkimuksen merkitys**

Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen relevanssia ei ole aiemmin tutkittu oppilailla. Useat molekyylihallinnuksen hyötyjä ja relevanssia kartoittaneet tutkimukset (esimerkiksi Aksela & Lundell, 2008; Holbrook, 2005; Webb, 2005) on tehty tutkimalla opettajia. Vaikka opetusmenetelmätieto koskettaa käytännön tasolla eniten opettajia, menetelmien valinnan tulisi

olla ensisijaisesti oppilaslähtöistä. Koska molekyylihallinnuksen relevanssia on tutkittu vasta vähän, ei voida vetää suoria johtopäätöksiä siitä, lisääkö molekyylihallinnus relevanssia. Tutkimustuloksien perusteella työskentelytavoilla suuri merkitys oppilaiden asenteisiin (Kärnä, Hakola & Kuusela, 2011). Jotta uudet oppimismenetelmät löytävät tiensä opettajien käyttöön, on opettajille voitava tarjota ajankohtaista kotimaista tutkimustietoa niiden soveltamisesta käytännössä ja tietoa hyödyistä ja haitoista. Pätevän opettajan on pystyttävä perustelemaan käyttämänsä menetelmät itselleen, oppilaille ja oppilaiden vanhemmille.

Tutkimusmenetelmänä kyselylomaketutkimus ja kvantitatiivinen sisällönanalyysi tuottavat tietynlaisia tuloksia. Tulosten tarkastelussa on otettava huomioon kyselylomaketutkimuksen luonne. Tutkimus mittaa vain niitä asioita, joita väittämät kysyvät ja joihin vastaaja on löytänyt itselleen sopivan vastausvaihtoehdon. Tutkimuksen arvioinnissa on otettava huomioon mahdollisuus, että kyselylomakkeessa, joka on laadittu yhden määritelmän pohjalta, ei kysytty oppilaan kokemaa relevanssia, sillä tasolla kuin hän sen mieltää. Koska kyselylomake suunniteltiin niin, että sen vastaamiseen voidaan käyttää mahdollisimman vähän aikaa, lomake on lyhyt ja kysymysten asettelut ovat yksinkertaisia. Myös kategoriset vastausvaihtoehdot on valittu tutkimukseen vastausnopeuden ja vastaajien iän takia. Esimerkiksi haastattelututkimuksessa oppilas, jonka käsityksiä relevanssista kyselylomake ei mittaa, olisi voinut tuoda kokemansa relevanssin paremmin esiin. Kvantitatiivinen sisällönanalyysi puolestaan keskittyy tutkimusotteen mukaisesti yleistysten tekemiseen, jolloin yksilön ääni ei tule tutkimuksessa kuulluksi.

Koska tutkimukseen osallistuvat oppilaat tulivat eri kouluista, heillä ei ole yhdenmukaista sisällöllistä tai käsitteellistä osaamista kemiasta. Näin ollen ei voida olla varmoja, ymmärsivätkö oppilaat kyselylomakkeen väittämät samalla tavalla. Myös esimerkiksi ammatillista mittaavat väittämät olettivat, että oppilaat tietävät, missä ammateissa tarvitaan kemiaa. Tähän perustuvia epäjohdonmukaisuuksia oli havaittavissa kyselylomakkeissa, joissa toiveammatti ja arvio tarvita kemiaa tulevaisuuden ammatissa, eivät olleet yhdenmukaisia. Oppilaat eivät 7. luokalla välttämättä tiedä, että lääketieteen pääsykokeessa on perinteisesti tarvittu hyvää lukion kemian osaamista. Tämän epäjohdonmukaisuuden olisi voinut kiertää kysymällä tutkimuskyselyssä tietääkö oppilas tarvitaanko hänen toiveammatissaan kemiaa ja sen jälkeen vasta arveleeko hän tarvitsevansa tulevaisuuden ammatissaan kemiaa.

Tutkimuksen tekemisen haasteet keskittyivät tämän tutkimuksen osalta lyhyeen tutkimusaikaan, jonka takia otosten määrä jäi määrälliseksi tutkimukseksi vähäiseksi. Suurempi otoskoko ja järjestysasteikollinen mittari olisivat mahdollistaneet suuremman valikoiman kvantitatiivisia analysointimenetelmiä. Molekyylimallinnuksen relevanssia tutkittaessa olisi mielekästä käyttää myös tutkimushaastatteluja ja laajempaa kyselylomaketta. Mahdollisena jatkotutkimuksena voitaisiin toteuttaa myös vertailututkimus, jossa ensikokemuksen relevanssia verrattaisiin tietokoneavusteista molekyylimallinnusta usein käyttävien oppilaiden relevanssiin.

Tässä tutkimuksessa kerättyä tietoa voidaan hyödyntää kemian opetuksessa ja kemian opetuksen tutkimuksessa. Tutkimuksen tulokset oppilaiden ensikokemuksen relevanssista molekyylimallinnuksessa ovat osoitus siitä, että molekyylimallinnuksen käyttöä opetusvälineenä kannattaa jatkaa. Enemmistö tutkimukseen osallistuneista oppilaista piti tietokoneavusteista molekyylimallinnusta helppona ja kivana sekä koki molekyylimallinnuksen auttavan ymmärtämään kemiaa paremmin. Tutkimuksen tulosten perusteella oppilaiden yhteiskunnallista relevanssia voidaan tukea tietokoneavusteisella molekyylimallinnuksella.



## LÄHTEET

- Aksela, M. (2005). Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach. Akateeminen väitöskirja, University of Helsinki.
- Aksela, M., & Lundell, J. (2008). Computer-based molecular modelling: Finnish school teachers' experiences and views. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 301–308.
- Assor, A., Kaplan, H. & Roth, G. (2010). Choice is good, but relevance is excellent: Autonomy-enhancing and suppressing teacher behaviours predicting students' engagement in schoolwork. *British Journal of Educational Psychology*, 72(2), 261–278.
- Barak, M., & Dori, Y. J. (2005). Enhancing undergraduate students' chemistry understanding through project-based learning in an IT environment. *Science Education*, 89, 117–139.
- Barnea, N. (2000). Teaching and learning about chemistry and modelling with a computer managed modelling system, Teoksessa J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Toim.), *Developing models in science education* (ss. 307–323). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chai, C. S., Koh, J. L. K., Tsai, C.-C., & Tan, L. L. (2011). Modeling primary school pre-service teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) for meaningful learning with information and communication technology (ICT). *Computers & Education*, 57, 1184–1193.
- Chai, C.-S., Koh, J. H.-L., & Tsai, C.-C. (2013). A Review of Technological Pedagogical Content Knowledge. *Educational Technology & Society*, 16(2), 31–51.
- Cox, M.J. (1997). The Effects of Information Technology on Students' Motivation. Coventry: Council for Educational Technology.
- Cronbach, L.J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297–334.
- DeJong, O. (2006). Making Chemistry Meaningful: Conditions for successful context-based teaching. *Educacion Quimica*, 17, 215–226.
- Dewey, J. (1973). Education as a social function. Teoksessa S. D. Sieber & D. D. Wilder (Toim.) *The school in society* (ss. 28–33). New York, NY: The free Press.
- Dori, Y. J., & Barak, M. (2001). Virtual and Physical Molecular Modeling: Fostering Model Perception and Spatial Understanding. *Educational Technology & Society*, 4(1), 61–74.
- Dori, Y. J., & Kaberman, Z. (2012). Assessing High School Chemistry Students' Modeling Sub-Skills in a Computerized Molecular Modeling Learning Environment. *Instructional Science: An International Journal of the Learning Sciences*, 40(1), 69–91.
- Ertmer, P. A. (1999). Addressing first- and second-order barriers to change: strategies for technology integration. *Educational Technology Research and Development*, 47(4), 47–61.

- Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E., & Sendurur, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, 59(2), 423–435.
- Feng, S.-L. & Tuan, H.-L. (2005). Using ARCS model to promote 11th graders' motivation and schievement in learning about acids and bases. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, 463–484.
- Fisher, R.A. (1925). *Statistical methods for research workers*. Oliver and Boyd, Edinburg.
- Fleming, S. A., Hart, G. R., & Savage, P. B. (2000). Molecular orbital animations for organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 77(6), 790–793.
- Frailich, M., Kesner, M., & Hofstein, A. (2009). Enhancing students' understanding of the concept of "chemical bonding" by using activities provided on an interactive website. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 289–310.
- Gabel, D. L. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76, 548–554.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. Teoksessa J. K. Gilbert (Toim.) *Vizualization in science education - Series: Models and Modeling in Science Education* (ss. 9–27). Springer, Dordrecht.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of 'context' in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28, 957–976.
- Haaparanta, L. & Niiniluoto, I. (2016). Johdatus tieteelliseen ajatteluun, Gaudeamus Oy, Helsinki University Press.
- Helavirta, S. (2007). Lapset, survey ja hyvinvointi. Metodologisia haasteita ja mahdollisuuksia. *Janus*, 15(1), 19–34.
- Helppolainen, S., & Aksela, M. (2015). Science teachers' ICT use from a viewpoint of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPCK). *LUMAT*, 3(6), 783–799.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (1997) Tutki ja kirjoita. Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Hofstein, A., Eilks, I. & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education: A pedagogical justification and the statte of the art in Israel, Germany and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459–1483.
- Holbrook, J. (2005). Making chemistry teaching relevant. *Chemical Education International*, 6(1), 1–12.
- Holbrook, J. (2008). Introduction to the speacial issue of science education international devoted to PARSEL. *Science Education International*, 19, 257–266.
- Hotulainen, R. (2007). Aineistonkeruu kyselylomakkeella. Haettu 28.3.2018, <http://www.mv.helsinki.fi/home/hotulain/Tilasto/Kyselomakeohjeet.htm>.

Johnstone A. H., (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.

Justi, R. & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of the atom. *International Journal of Science Education*, 22, 993 – 1009.

Jääskeläinen, P. & Aksela, M. (2008). Tietokonepohjainen molekyylihallinnusoppimisympäristö 9. luokkalaisten oppilaiden kemian kiinnostuksen tukena. Teoksessa J. Väliisaari & J. Lundell (Toim.) *Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelma-aperustaista oppimista*.

Keller, J. M. (1983). Motivational desing of instruction. Teoksessa C. M. Reigeluth (Toim.) *Instructional desing theories: An overview of their current status* (ss. 386–434). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Keller, J. M. & Kopp, T. (1987). An application of the ARCS model of motivational desing. Teoksessa C. M. Reigeluth (Toim.), *Instructional desing theories: Lessons illustrating selected theories and models* (ss. 289–320). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Kiikeri, M. & Ylikoski, P. (2004). Tiede tutkimuskohteena – Filosofinen johdatus tieteen tutkimukseen, Gaudeamus Kirja, Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd.

Klafki, W. (2000a). The significance of classical theories of Bildung for a contemporary concept of Allgemeinbildung. Teoksessa I. Westbury, S. Hopmann & K. Riquarts (Toim.) *Teaching as a reflective practice: The German Didaktik tradition* (ss. 85–108). Lawrence Erlbaum.

Klafki, W. (2000b). Didaktik analysis as the core of preparation of instruction. Teoksessa I. Westbury, S. Hopmann & K. Riquarts (Toim.) *Teaching as a reflective practice: The German Didaktik tradition* (ss. 139–160). Lawrence Erlbaum.

Knamiller, G. (1984). The struggle for relevance of science education in developing countries. *Studies in Science Education*, 11, 60–78.

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9, 1, 60–70.

Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representationl competence. Teoksessa *Visualization in science education* (ss. 121–145). Springer, Dordrecht.

Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212–218.

Kärnä, P., Hakonen, R. & Kuusela, J. (2011). Luonnontieteellinen osaaminen perusopetuksen 9. luokalla 2011. Opetushallitus, Koulutuksen seurantaraportit 2012:2.

- Lavonen, Jari; Juuti, Kalle; Uitto, Anna; Meisalo, Veijo & Byman, Reijo. (2005). Attractiveness of Science Education in the Finnish Comprehensive School. Teoksessa A. Manninen, K. Miettinen & K. Kiviniemi (Toim.). *Research Findings on Young People's Perceptions of Technology and Science Education. Mirror results and good practice*. Helsinki: Technology Industries of Finland.
- Leontjev, A.N. (1977). Toiminta, tietoisuus, persoonallisuus. Kansankulttuuri, Helsinki.
- Meisalo V., Lavonen J., Juuti K. and Aksela M., (2007). Information and communication technology in school science in Finland. Teoksessa E. Pehkonen, M. Ahtee & J. Lavonen (Toim.). *How Finns learn mathematics and science, Sense Publishers, The Netherlands*.
- OECD (2004), Information and communications technologies, OECD Information Technology Outlook.
- Metsämuuronen, J. (2005) Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, 3. laitos.
- Newton, D. P. (1988). Making science education relevant. *Educational Philosophy and Theory*, 20, 7–20.
- Opetushallitus (2014). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014. Määräykset ja ohjeet 2014:96.
- Pallant, J. (2010). SPSS Survival manual. 4. painos, Open University Press, Maidenhead.
- Pernaa, J. (2011). Kehittämistutkimus: Tieto- ja viestintätekniikkaa kemian opetukseen. Akateeminen väitöskirja, Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
- Pernaa, J., & Aksela, M. (2009). Chemistry teachers' and students' perceptions of practical work through different ICT learning environments. *Problems of Education in the 21st Century*, 16, 80–88.
- Pernaa, J., Aksela, M. & Ghulam, S. P. (2017). Introduction to molecular modeling in chemistry education. e-Oppe, Edumendo Publishing.
- Pernaa, J., Aksela, M. & Lundell, J. (2009). *Kemian opettajien käsityksiä molekyylimallinnuksen käytöstä*. Teoksessa M. Aksela & J. Pernaa (Toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluhin: IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät*. Helsinki: University press, 195–204.
- Porter, S.G., Day, J., McCarty, R.E., Shearn, A., Shingles, R., Fletcher, L., Murphy, S. & Pearlman, R. (2007). Exploring DNA Structure with Cn3D, *CBE - Life Sciences Education*, 6, 65–73.
- Puolimatka, T. (1995). Kasvatus ja filosofia, Kirjayhtymä Oy, Helsinki.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. (1989). Biometria. Tilastotiedettä ekologeille, 2. painos, Yliopistopaino, Helsinki.

- Russell, J., & Kozma, R. (2005). Assessing learning from the use of multimedia chemical visualization software. Teoksessa J. K. Gilbert (Toim.), *Visualization in science education* (ss. 299–332). Springer, Dordrecht.
- Sim, J. & Wright, C. (2005). The Kappa statistic in reliability studies: Use, interpretation, and sample size requirements. *Physical Therapy*, 85(3), 257–268.
- Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2010). The ROSE project: An overview and key findings. Oslo: University of Oslo.
- Skinner, E. A., & Belmont, M. J. (1993). Motivation in the classroom: Reciprocal effects of teacher behavior and student engagement across the school year. *Journal of Educational Psychology*, 85(4), 571–581.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of ‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1–34.
- Taanila, A. (2014). Mittaamisen luotettavuus, Akin menetelmäblogi. Haettu 6.4.2018 <https://tilastoapu.wordpress.com/tag/reliabiliteetti/>
- Treagust D. F., Chittleborough G. & Mamiala T.L. (2002). Students’ understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.
- Tsai, C. C., & Chai, C. S. (2012). The “third”-order barrier for technology-integration instruction: Implications for teacher education. *Australasian Journal of Educational Technology*, 28(6), 1057–1060.
- Turner, J. & Paris, S. G. (1995). How literacy tasks influence children’s motivation for literacy. *The Reading Teacher*, 48, 662–673.
- Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: Implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education*, 27(6), 705–735.
- Wilson, D. & Sperber, D. (2004) Relevance Theory. Teoksessa L. R. Horn & G. Ward (Toim.), *The Handbook of Pragmatics* (ss. 607–632). Blackwell.

## LIITE

### Liite 1. Kyselylomake

#### Kysely molekyylimallinnuksesta

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Olen...                              | Olen...                                   |
| <input type="checkbox"/> 7. luokalla | <input type="checkbox"/> tyttö            |
| <input type="checkbox"/> 8. luokalla | <input type="checkbox"/> poika            |
| <input type="checkbox"/> 9. luokalla | <input type="checkbox"/> en halua vastata |



Lempiaiineeni koulussa on \_\_\_\_\_.

Toiveammattini on \_\_\_\_\_.

Rasti mielestäsi sopivin vastaus.

- |   | Kyllä                 | Ei                    | En osaa sanoa         |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. Kemia on mielestäni mielenkiintoista.                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 2. Olen kiinnostunut tietokoneista ja tekniikasta.              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 3. Molekyylimallinnus oli minusta kivaa.                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 4. Molekyylimallinnus oli minusta helppoa.                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 5. Haluaisin tehdä molekyylimallinnusta lisää.                  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 6. Tulen tarvitsemaan molekyylimallinnusta tulevaisuudessa.     | Kyllä                 | Ei                    | En osaa sanoa         |
| 7. Kemian osaaminen on minulle hyödyllistä tulevaisuudessa.     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 8. Molekyylien kehittäminen on luovaa työtä.                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 9. Molekyylimallinnus auttoi minua ymmärtämään kemiaa paremmin. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 10. Molekyylimallit ovat mielestäni hienon näköisiä.            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 11. Molekyylimallinnus on tärkeää tieteellisessä tutkimuksessa. | Kyllä                 | Ei                    | En osaa sanoa         |
| 12. Tulevaisuudessa tiedettä tehdään yhä enemmän tietokoneilla. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 13. Tieteen avulla voidaan suojella luontoa ja eläimiä.         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 14. Ymmärrän maailmaa enemmän, kun osaan kemiaa.                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 15. Tarvitsen tulevaisuuden opinnoissani kemian osaamista.      | Kyllä                 | Ei                    | En osaa sanoa         |
| 16. Tarvitsen tulevassa ammatissani kemiaan osaamista.          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 17. Molekyylimallinnus on tärkeä työkalu kemistille.            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 18. Ymmärrän, miksi molekyylimallinnusta käytetään kemiassa.    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 19. Tunnin ohjeet olivat selkeät.                               | Kyllä                 | Ei                    | En osaa sanoa         |
| 20. Ymmärrän, mihin molekyylimallinnusta tarvitaan.             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 21. Ymmärrän, mitä tunnilla käsiteltiin.                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 22. Tunnilla käsiteltävä aihe oli minulle entuudestaan tuttu.   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 23. Opin tunnilla jotain uutta.                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Kiitos kun vastasit kyselyyni! ☺